



*Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Industrial*

Informe Final

Alternativas para enfrentar una eventual crisis de abastecimiento energético en Chile

*Elaborado para:
IN628
Gestión y Políticas Energéticas*

*Grupo 3:
Milenko Franulic
Mauricio Gaggero
Gonzalo Morales
María Paz Torres*

Profesor: Pedro Maldonado

23 de junio de 2005

Índice

1. Introducción	1
2. Fuentes energéticas en Chile	3
2.1. Energías primarias	3
2.1.1. Energía primaria presente en el territorio nacional	3
2.1.2. Consumo de energías primarias/total país/año 2002	4
2.2. Energías secundarias	5
2.2.1. Clasificación de energías secundarias	5
2.2.2. Energías secundarias presente en el territorio nacional	5
2.2.3. Consumo de energías secundarias/total país/año 2002	7
2.3. Energías renovables	7
3. Presentación de los problemas de abastecimiento actual	10
3.1. Contingencias	10
3.2. Corto plazo	11
3.3. Mediano plazo	12
4. Descripción de soluciones	13
4.1. Energía eólica	13
4.2. Energía solar	14
4.2.1. Fotovoltaica	15
4.2.2. Termosolar	16
4.3. Energía geotérmica	18
4.4. Energía de biomasa	19
4.5. Energía hidráulica	20
4.6. Celdas de combustible	21
5. Clasificación de soluciones	23
5.1. Contingencias	23
5.2. Corto plazo	23
5.3. Mediano plazo	24

1. Introducción

El sistema de abastecimiento eléctrico en Chile consta de cuatro subsistemas: el Sistema Interconectado Norte Grande (SING); el Sistema Interconectado Central (SIC); el Sistema Aysén y el Sistema Magallanes. De estos, el SIC y el SING cubren más del 80% de la demanda total de energía eléctrica del país. Las principales fuentes son la hidroeléctrica, gas natural y carbón.

El desarrollo del SING está enfocado básicamente a satisfacer las necesidades eléctricas de la gran minería de la I y II regiones, y su producción está a cargo de centrales termoeléctricas que utilizan el gas natural y el carbón como fuentes.

Por su parte, el SIC cubre desde la III región hasta Chiloé y posee la mayor capacidad de generación y consumo a nivel nacional. Al igual que en el SING, la introducción del gas natural y el uso de centrales termoeléctricas de ciclo combinado cambiaron fuertemente este sistema en 1997.

Durante los últimos años, el consumo de energía primaria y el consumo eléctrico han aumentado a tasas mucho más rápidas que el PIB. Esto se explica por varios factores entre los que destaca la masificación de procesos intensivos en el uso de energía eléctrica (en especial en minería, con técnicas de electro obtención de cobre) y la intensificación del uso en el sector comercial e industrial. A esto se agrega la sostenida caída en el precio de la energía, provocada por la introducción masiva del gas natural en la matriz eléctrica. En el caso del SING el precio cayó a un tercio de lo que costaba en 1985, mientras que para el SIC el precio cayó en más de un 10%.

Si bien esto puede interpretarse de forma positiva, a la larga produjo un efecto negativo para el país, ya que desincentivó la inversión en la generación de energía a partir de otras fuentes.

Esto, unido a la falta de políticas públicas fuertes para un desarrollo energético más integral, fue crucial para provocar la alta y creciente dependencia de nuestro país para con el gas argentino.

Otro elemento importante en la configuración de nuestra matriz energética son los subsidios estatales a la compra de hidrocarburos para la generación de energía eléctrica. Con el fin de asegurar continuidad en el suministro, se exime del pago de aranceles a las importaciones de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural).

Todo lo anterior muestra como la matriz eléctrica es extremadamente vulnerable a fac-

tores externos como la falta de suministro o el alza excesiva en los costos de los insumos.

El presente informe muestra diferentes alternativas para enfrentar una eventual crisis de abastecimiento energético del país desde una perspectiva de corto y largo plazo. En el estudio se consideraron variables económicas, ambientales y de seguridad de abastecimiento con el fin de desarrollar una política sustentable de abastecimiento energético.

Para efectos del análisis, se consideran las distintas fuentes energéticas presentes en el país (Petróleo, carbón, hídricos, leña, biogás, etc.), los problemas de corto y mediano plazo, además de las distintas alternativas que podrían utilizarse para efectos de solucionar en parte esos problemas y como proyectar el desarrollo de la matriz energética a fin de diversificar la matriz y lograr un desarrollo sustentable hacia el futuro.

2. Fuentes energéticas en Chile

2.1. Energías primarias

Se denomina energía primaria a los recursos naturales disponibles en forma directa (como la energía hidráulica, eólica y solar) o indirecta (después de atravesar por un proceso minero, como por ejemplo el petróleo el gas natural, el carbón mineral, etc.) para su uso energético sin necesidad de someterlos a un proceso de transformación.

Se refiere al proceso de extracción, captación o producción (siempre que no conlleve transformaciones energéticas) de portadores energéticos naturales, independientemente de sus características.

2.1.1. Energía primaria presente en el territorio nacional

Petróleo crudo

El total del abastecimiento nacional proviene de los pozos en tierra firme y costa afuera en la XII Región. La información sobre reservas indica aproximadamente 30 millones de Barriles.

Gas natural

El total de producción nacional proviene de la XII Región de Magallanes. Las reservas se estiman en 45 .000 millones de metros cúbicos.

Carbón

Las principales Minas de Carbón se encuentran en la VIII, IX y XII Región. Las reservas se estiman en 155 millones de Toneladas.

Hídricos

Las centrales hidroeléctricas, ya sean de pasada o embalse se encuentran a lo largo de todo el país excepto en la II y XII Región. El total de recursos hídricos del país es de aproximadamente 24.000 [MW], de los cuales se encuentran instalados alrededor de 4.130 [MW].

Leña

Este recurso se encuentra disponible desde la IV a la XII Región. Dado su carácter de energético renovable se espera se mantengan los niveles de consumo al menos en el mediano plazo.

Biogas

En estos momentos solo se extrae biogás de los vertederos de la Región Metropolitana, explotando volúmenes pequeños.

Energía solar existe en abundancia en la zona norte del país (I y II Región) Energía eólica básicamente a lo largo de todo el territorio nacional, específicamente en las zonas costeras.

2.1.2. Consumo de energías primarias/total país/año 2002

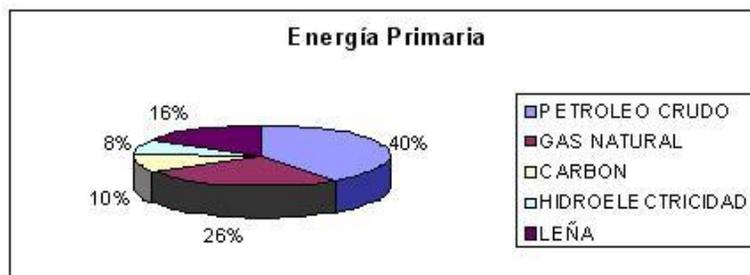


Figura 1: Estimaciones de demanda de energías primarias/ teracalorías/2002.

La figura 1 fue obtenida del balance de energía del año 2002 de la CNE. Considera la Hidroelectricidad con equivalente calórico de 2.750 [kcal/kWh] desde 1978 hasta 1998. Desde 1999 se considera un equivalente de 2.504 [kcal/kWh].

2.2. Energías secundarias

Se denomina energía secundaria a los productos resultantes de las transformaciones o elaboración de recursos energéticos naturales (primarios) o en determinados casos a partir de otra fuente energética ya elaborada (por ejemplo, alquitrán). El único origen posible de toda energía secundaria es un centro de transformación y, el único destino posible un centro de consumo. Este proceso de transformación puede ser físico, químico o bioquímico modificándose así sus características iniciales.

Son fuentes energéticas secundarias la electricidad, toda la amplia gama de derivados del petróleo, el carbón mineral, y el gas manufacturado (o gas de ciudad).

El grupo de los derivados del petróleo incluye una amplia variedad de productos energéticos útiles que se obtienen a partir del procesamiento del petróleo en las refinerías, entre los cuales se encuentran las gasolinas, los combustibles diesel (gasóleos) y otros.

2.2.1. Clasificación de energías secundarias

Petróleos Combustibles, Alquitrán, Petróleo Diesel, Gasolina 93, 95 y 97, Gasolina 93 Con Plomo, Gasolina de Aviación, Kerosene de Aviación, Kerosene, Nafta, Gas Licuado, Gas de Refinería, Gas de Ciudad, Gas de Altos hornos, Metanol, Coke o coque, Carbón, Electricidad, Leña, Biogas. (Ver cuadro 1).

2.2.2. Energías secundarias presente en el territorio nacional

Producción de combustibles líquidos

Los centros de transformación que producen combustibles líquidos derivados de petróleo se encuentran la V Región (ENAP Refinerías Aconcagua), VIII Región (ENAP Refinerías Biobío) y XII Región (Enap Magallanes). La capacidad total de refinación es de aproximadamente 34.300 metros cúbicos por día.

Componentes naturales (Energía primaria)	Proceso de transformación a energía secundaria
Petróleo Crudo	Petróleos Combustibles, Alquitrán, Petróleo Diesel, Gasolina 93, 95 y 97 Gasolina 93 Con Plomo, Gasolina de Aviación, Kerosene de Aviación, Kerosene, Nafta, Gas licuado, Gas de refinería
Petróleo Crudo, gas natural, carbón, leña y biomasa, hídrico, biogas, eólica, solar	Electricidad
Petróleo Crudo, Gas Natural, Carbón, biogas	Gas de ciudad
Petróleo crudo, carbón	Coke o coquel
Carbón	Gas de altos hornos
Gas natural	Gas natural
Gas natural	Metanol
Carbón	Carbón
Leña y biomasa	Leña
Biogas	Biogas

Cuadro 1: Obtención de energías secundarias.

Generación de electricidad

En Chile el principal recurso de generación de energía eléctrica es el hidráulico, seguido por los combustibles de origen fósil, principalmente carbón, en centrales termoeléctricas. Las centrales hidroeléctricas se caracterizan por su alta disponibilidad y bajo costo de operación, en tanto que las termoeléctricas requieren de un costo de operación más elevado. Las centrales hidroeléctricas generan aproximadamente el 70% del suministro eléctrico del país.

Las centrales hidroeléctricas se ubican entre la I, IV, V, RM, VI, VII, VIII y X Región.

Las plantas termoeléctricas ya sean a Carbón, Gas Natural, Diesel u otras, se encuentran a lo largo de todo el país desde la I a la XII Región. La capacidad instalada térmica es de aproximadamente 6.800 MW.

Producción de gas de alto horno, coque y alquitrán

Estas fuentes energéticas se producen en la VIII Región, principalmente en la Siderúrgica de Huachipato.

Producción de metanol

Esta fuente energética se produce en la XII Región y se exporta casi en su totalidad para uso tanto petroquímico como netamente energético.

2.2.3. Consumo de energías secundarias/total país/año 2002

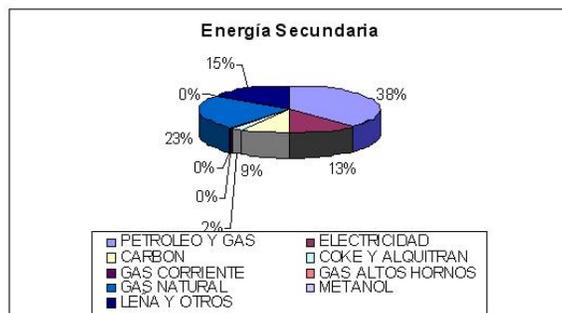


Figura 2: Estimaciones de demanda de energías secundarias/ teracalorías/2002.

La figura 2 fue obtenida del balance de energía del año 2002 de la CNE. Considera electricidad con equivalente calórico de 860 [kcal/kWh].

2.3. Energías renovables

Las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil, no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energías están la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además,

dependiendo de su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables la energía proveniente de la biomasa y la energía geotérmica.

Las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Dentro de las convencionales, la más difundida es la hidráulica a gran escala.

Como energías renovables no convencionales (ERNC) se consideran la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos. Además, existe una amplia gama de procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa que pueden ser catalogados como ERNC. De igual manera, el aprovechamiento de la energía hidráulica en pequeñas escalas se suele clasificar en esta categoría.

Al ser autóctonas y, dependiendo de su forma de aprovechamiento, generar impactos ambientales significativamente inferiores que las fuentes convencionales de energía, las ERNC pueden contribuir a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, depende de las particularidades en cada país de elementos tales como el potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirían.

Históricamente la matriz energética de Chile ha contado con una participación importante de energías renovables, en particular de la energía hidráulica convencional utilizada para generación eléctrica. Esta participación ha disminuido en los últimos años producto del crecimiento de sectores que tienen un consumo intensivo de derivados del petróleo, como el transporte, y del aumento de la capacidad de generación eléctrica térmica a partir de gas natural. Sin perjuicio de ello, la participación de las energías renovables sigue siendo significativa en el abastecimiento energético nacional, tal como se desprende del balance de consumo bruto de energía primaria del año 2001 (Figura 3).

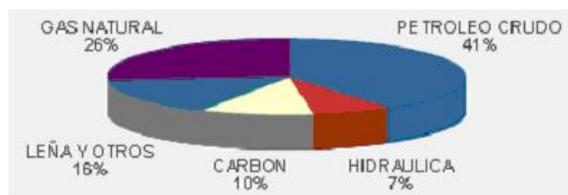


Figura 3: Consumo bruto de energía primaria (2001).

Por su parte, si bien las ERNC presentan una participación marginal en el consumo bruto de energía en Chile, han tenido un espacio de desarrollo en el abastecimiento energético de zonas rurales, situación que se verá reforzada por las políticas gubernamentales de apoyo a

la electrificación rural. Las energías renovables no convencionales, que poseen un potencial de desarrollo en nuestro País, son las siguientes:

- Eólica
- Biomasa
- Solar
- Hidráulica
- Geotérmica

3. Presentación de los problemas de abastecimiento actual

Antes de realizar una presentación de los tipos de problemas que podrían afectar o que ya están afectando el abastecimiento actual, es necesario realizar un pequeño repaso acerca de los procesos genéricos involucrados en todo proceso energético, de tal manera de mejorar el entendimiento de las implicancias que conlleva la presentación de problemas dentro de ellos.

Como primera etapa se encuentran los procesos de abastecimiento y aquellos realizados en la Central Transformadora, en donde la energía primaria es transformada en energía secundaria. En segundo lugar se encuentra la etapa de Transmisión de la energía, mediante la cual, la energía secundaria se transforma en energía final. Finalmente se presenta la Segunda Etapa de Transformación de la energía, en la cual la energía final es convertida en energía útil, que es aquella energía que efectivamente es utilizada. Los problemas energéticos descritos se presentan en la etapa de abastecimiento, es decir, aquellos problemas que abortan el proceso energético desde su comienzo.

Es importante destacar que en gran medida los problemas presentados a continuación tienen una estrecha relación con la situación actual de la energía en Chile. Problemas que han acontecido recientemente producto de la precaria situación en la que se encuentra el país con respecto al tema energético y que han dejado en evidencia dos fallas claves en la definición del sistema de abastecimiento nacional que han sido la principal causa de los problemas actuales; La dependencia de pocas fuentes y La ineficiencia en el uso de la energía disponible.

3.1. Contingencias

Por contingencia se entiende la presentación de un hecho o problema que se plantea de forma imprevista. A partir de esta definición de contingencia, es posible extrapolar al caso de las contingencias en el abastecimiento energético, entendiéndose por esto la presentación de problemas no contemplados por los procesos de control en el abastecimiento, en las plantas generadoras, transformadoras o en los procesos de transmisión, ya sea por completo desconocimiento de la probabilidad de existencia del problema (o que sea considerada como despreciable) o simplemente por la presentación del hecho dentro de un plazo no contemplado.

Conocido es el problema al cual el país ha tenido que hacer frente, con respecto a los cortes en el suministro de gas desde Argentina, problemas que principalmente se producían por un peligro constante en el suministro de gas, en donde a los empresarios se les avisaba

tan solo horas antes si podrían contar con este combustible. Este tipo de contingencia, no solo se presenta como un problema para la seguridad de abastecimiento de gas, sino que también pasa a afectar el abastecimiento de electricidad, sobre todo aquella que proviene de centrales en las cuales se trabaja con este insumo.

3.2. Corto plazo

Los problemas de corto plazo son problemas que es posible visualizarlos antes de que ocurran, lo que da un periodo de tiempo, que a veces es insuficiente, para poder planificar e implementar alguna solución que logre impedir o al menos mitigar en algún grado sus efectos. De esta manera es posible identificar que la mayor dificultad para enfrentar los problemas de corto de plazo es el corto tiempo disponible para poder reaccionar y establecer medidas que realmente sean eficientes y que logren contrarrestar los efectos.

La actual crisis del gas y la crisis eléctrica, que comenzaron como una contingencia en el tema energético, han producido una serie de efectos que van más allá de lo que se mencionó anteriormente, principalmente debido a que el problema con Argentina ha sido sostenido durante los últimos meses. De esta manera también ha afectado al país en cuanto a su economía y ha dejado en evidencia problemas más de fondo dentro de la manera en la cual se han manejado las políticas energéticas.

Hoy en día una de las caras mediante la cual se manifiesta esta crisis es la dificultad que existe para satisfacer la demanda energética, que sumado a la falta de lluvia, forman un problema bastante complicado y que es necesario controlar en el corto plazo.

Si bien es cierto la crisis del gas aun no ha tomado ribetes de escándalo, ya que, las casas y los comercios aun tienen suministro y la luz no se ha cortado, la situación dista de ser normal. Durante abril de este año, se canceló el suministro de gas de casi el 80 % de las industrias en Santiago y en la V Región, mientras que en la VIII el 100 %. En el sector eléctrico, las cosas no fueron mejores. Las empresas reconocen que están trabajando .^{al} día que si bien tienen una cierta holgura para enfrentar alguna emergencia, la falta de lluvias podría empeorar las cosas, dado el aumento de la demanda que se produce en invierno.

La situación del abastecimiento eléctrico residencial podría peligrar si coincidieran dos situaciones puntuales, y que estas se prolongaran durante un periodo de tiempo considerable. Estas dos situaciones serían el corte del suministro de gas desde Argentina junto con la ocurrencia de un largo periodo de sequía, sin embargo las centrales generadoras, están preparadas para utilizar otro tipo de recursos en caso de que falten recursos hídricos o el gas, de esta manera el abastecimiento eléctrico esta parcialmente protegido, salvo por la

ocurrencia de situaciones límites en las que no sea viable utilizar combustibles alternativos para la generación.

Con respecto al abastecimiento doméstico de gas, en caso de que este escasease, existe una legislación que protege el abastecimiento energético residencial por sobre el industrial. Si la escasez fuese extrema, lo que se hace es producir otro tipo de gas a base de metano, propano y aire.

3.3. Mediano plazo

Los principales problemas en el Mediano Plazo son la dependencia de pocas fuentes y la ineficiencia energética, problemas de fondo, que son los principales responsables de la actual crisis energética que en consecuencia con su profundidad las soluciones son bastante costosas, requieren de grandes esfuerzos, que solo podrían ser resueltas después de realizar estudios completos acerca de la potencialidad energética de los recursos naturales presentes en el país, la posibilidad de explotarlos y la manera de costear estos proyectos así como analizar la posibilidad de importar energía desde otros países, de tal manera de lograr ampliar la cartera de países abastecedores.

Chile va a seguir creciendo y su consumo eléctrico también. La demanda actual es del orden de 5.000 [MW], 4.000 de ellos en el SIC (Sistema Interconectado Central), de esta manera, la definición de políticas que apunten a solucionar estos problemas es cada día más necesaria.

4. Descripción de soluciones

4.1. Energía eólica

Las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en electricidad por medio de las aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie de engranajes (la transmisión), a un generador eléctrico.

La corriente eléctrica, generada a media tensión, es conducida por cables a la base de la torre donde se transforma a alta tensión y se conduce, con canalizaciones enterradas, hasta el centro de transformación del parque, del que parte la línea aérea para la conexión con la red.

Los costos de instalación son aproximadamente 1.000 [US\$/kW], y los de operación van entre 0,04 y 0,11 [US\$/kW].



Figura 4: Molino eólico.

Ventajas

- Las tecnologías de la energía eólica se encuentran desarrolladas para competir con otras fuentes energéticas.
- El tiempo de construcción es menor con respecto a otras opciones energéticas.

- Al ser plantas modulares, son convenientes cuando se requiere tiempo de respuesta de crecimiento rápido.
- La investigación y desarrollo de nuevos diseños y materiales para aplicaciones en aerogeneradores eólicos, hacen de esta tecnología una de las más dinámicas, por lo cual constantemente están saliendo al mercado nuevos productos más eficientes con mayor capacidad y confiabilidad.

Desventajas

- El aire, al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y, por lo tanto, costosas. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más pisos, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.
- Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral).
- El rotor produce bastante ruido cuando gira. Sin embargo, el ruido producido es bajo comparado con industrias de generación.
- También hay que tener cuidado con la selección del parque, ya que, en caso de que existan aves en el sector, podrían colisionar con las palas, causando un aumento en la mortandad de las primeras, aunque existen soluciones al respecto como pintar las palas en colores llamativos.
- Hay que transformar la corriente a media tensión, a alta tensión.

4.2. Energía solar

4.2.1. Fotovoltaica

Los Sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, el mismo material semiconductor usado en las computadoras. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; este es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa.

Los costos de instalación son entre 3.500 y 7.000 [US\$/kW], y los de operación van entre 0,25 y 1,5 [US\$/kW].



Figura 5: Efecto fotovoltaico.



Figura 6: Celda fotovoltaica.

Ventajas

- Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años.
- Los módulos o celdas fotovoltaicas se caracterizan por su simplicidad, bajo peso, eficiencia, confiabilidad y ausencia de partes móviles
- No emiten ruido.

Desventajas

- Si bien los módulos fotovoltaicos son relativamente simples, su fabricación requiere de tecnología sofisticada que solamente está disponible en algunos países como Estados Unidos, Alemania, Japón y España entre otros.
- Su aplicación requiere de estudios respecto de la radiación solar disponible en la localidad en la que se instalarán los módulos. Estos estudios enfrentan los siguientes problemas:
 - Mantenimiento y calibración de los equipos de medición.
 - Control de calidad Problemas asociados al manejo de datos.
 - Falta de técnicos capacitados para la operación de las estaciones solarimétricas.
 - Falta de elaboración de manuales especializados.
 - Falta de un centro especializado para la concentración de datos de radiación solar.

4.2.2. Termosolar

Los sistemas fototérmicos convierten la radiación solar en calor y lo transfieren a un fluido de trabajo. El calor se usa entonces para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, secar granos o destruir desechos peligrosos. Los Colectores Térmicos Solares se dividen en tres categorías:

- Colectores de baja temperatura.

- Colectores de temperatura media.
- Colectores de alta temperatura.

Los costos de generación son alrededor de 0,13 [US\$/kW].

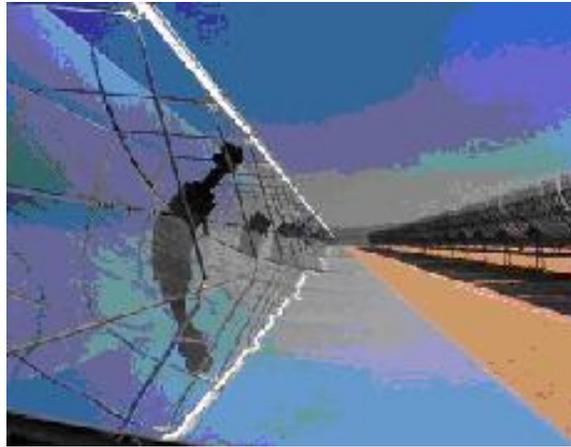


Figura 7: Colector solar.

Ventajas

- Se disminuye el uso de gas para calentar agua en las viviendas.

Desventajas

- Requiere mantención.
- El sistema es lento.
- Depende del clima.
- Se requiere de el respaldo de un calefont.

4.3. Energía geotérmica

Consiste en el aprovechamiento del calor generado por la tierra. En la corteza terrestre existen lugares en lo que se han encontrado capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. La idea es, básicamente, extraer ese vapor para que accione una turbina y, así, generar electricidad.

En el territorio chileno, dada sus características geológicas, se han reconocido numerosas áreas con manifestaciones de fuentes termales. Las fuentes termales de alta entalpía (temperaturas entre 150 y 300 °C) se ubican, por lo general, vecinas a los actuales centros volcánicos emplazados en el eje cordillera de los Andes. Sin embargo, la gran mayoría de la población de Chile habita en el valle central y la costa, donde las manifestaciones geotermales son preferentemente de mediana (temperaturas entre 80 y 150 °C) y baja entalpía (temperaturas entre 20 y 80 °C). Por ello, y salvo el caso de actividades mineras ubicadas en la alta cordillera y que podrían hacer uso del recurso geotérmico de alta entalpía teniendo los medios económicos para su explotación, el recurso geotermal más interesante y que más favorece a la población es aquel de mediana y baja entalpía.

Los costos de exploración geotérmica son aproximadamente 600[US\$/kW], y los de operación son aproximadamente 0,06 [US\$/kW].

Ventajas

- El suministro es constante. No depende del clima.
- En Chile se cuenta con una ley "sobre concesiones de energía geotérmica"
- Se cuenta con un gran potencial (aproximadamente 16000 MW durante 50 años).

Desventajas

- En la actualidad no existen centrales geotérmicas en Chile, por lo que no se tiene experiencia al respecto.
- No existe información adecuadamente detallada de las potencialidades geotérmicas del país. La obtención de esta información es bastante costosa, lo que hace difícil que los inversionistas se interesen en el área.



Figura 8: Pozo geotérmico.

4.4. Energía de biomasa

Este tipo de energía proviene de los desechos orgánicos de las industrias y las viviendas. La energía de biomasa proviene de la madera, residuos agrícolas y estiércol, entre otros. En el caso de la madera, las industrias de celulosa pueden quemar de manera eficiente la madera que sobra en el proceso, para producir vapor, el cual pueden usar para generar electricidad.

Los costos de instalación son de 700 [US\$/kW], y los de operación van entre 0,05 [US\$/kW].

Ventajas

- Las empresas eliminan el costo de transporte de desechos.

Desventajas

- Hay que hacer una gran inversión y hay que integrarse verticalmente, lo cual puede no ser simple.



Figura 9: Planta celulosa.

4.5. Energía hidráulica

Los sistemas hidroeléctricos relativamente pequeños pueden abastecer de energía a pequeños poblados. La fuente de agua puede ser un arroyo, un canal u otra forma de corriente que pueda suministrar la cantidad y la presión de agua necesarias, a través de la tubería de alimentación, para establecer la operación del sistema hidroeléctrico.

Existen tres tipos de turbinas: Pelton, Francis y Kaplan. Las más utilizadas para estos propósitos son las Pelton, debido a su versatilidad para operar en amplios rangos de caudales y presiones.

Los costos de instalación van entre 800 y 6.000 [US\$/kW], y los de operación van entre 0,03 y 0,45 [US\$/kW].



Figura 10: Turbina Pelton.

Ventajas

- Generan la energía suficiente para abastecer pequeños poblados.
- La fuente de agua puede ser un arroyo o canal.

Desventajas

- Requieren condiciones de presión y caudal mínimas.
- Requieren mantención.

4.6. Celdas de combustible

Son equipos que, a través de las reacciones electroquímicas, la reducción del oxígeno y la oxidación de un combustible (regularmente hidrógeno), transforman la energía química de estos elementos, en eléctrica y calorífica.

El combustible al fluir en la celda a través del electrodo negativo, y mediante un catalizador de platino que propicia la separación del hidrógeno en iones, siendo estos transportados a través de un electrolito, los que alcanzan el electrodo positivo, al combinarse con el oxígeno generan agua. Los electrones que no cruzan a través del electrolito fluyen por un circuito eléctrico externo con lo que se genera un voltaje, que al conectar una carga produce una corriente eléctrica.

Pra celdas de combustible de 200 [kW] de potencia, los costos son de 3 [US\$/kW].

Ventajas

- La transformación de energía es, por naturaleza, más eficiente que la de un motor de combustión interna, ya que la energía química del combustible se transforma directamente en energía eléctrica (sin pasar por la conversión de energía térmica, cuya eficiencia está sujeta a la del ciclo de Carnot).
- No tiene partes móviles, por lo que los requerimientos de mantenimiento son mínimos.

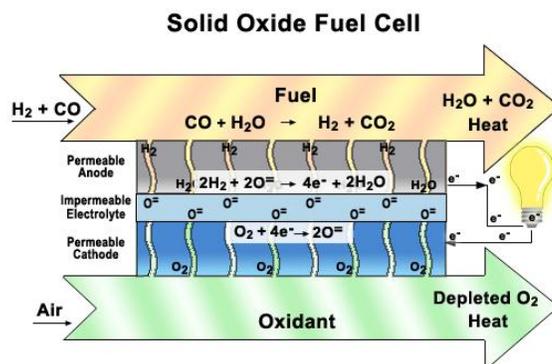


Figura 11: Esquema de funcionamiento de una celda de combustible.

- Los reactivos son suministrados en forma continua, por lo que las celdas de combustible no requieren reemplazo (a diferencia de las baterías).
- Poseen menor peso y tamaño, rápido abastecimiento y mayor rango de autonomía.
- Se pueden usar una gran variedad de combustibles (hidrógeno, gas natural, etanol, metanol, gasolinas reformadas).
- En el proceso de obtención de hidrógeno (electrólisis) se pueden utilizar energías renovables.
- Las emisiones son considerablemente más bajas que las de los motores de combustión interna. En el caso de que se utilice Hidrógeno, las emisiones son sólo vapor de agua.
- Los prototipos han registrado eficiencias de hasta un 55 %, casi un 15 % mayor que la de un motor Diesel.

Desventajas

- La obtención del hidrógeno líquido requiere de un proceso altamente consumidor de energía
- El transporte de hidrógeno gaseoso por ductos es menos eficiente que para otros gases, los contenedores para su almacenaje son grandes y el almacenamiento de cantidades adecuadas de hidrógeno a bordo de un vehículo todavía representa un problema significativo.
- El hidrógeno no es tóxico y no es contaminante, pero es difícil de detectar sin sensores adecuados ya que es incoloro, inodoro y su flama en el aire es casi invisible.

5. Clasificación de soluciones

A continuación se proponen soluciones para los problemas de contingencias, mediano plazo y largo plazo.

5.1. Contingencias

Para solucionar los problemas contingenciales se proponen las siguientes alternativas:

- Utilización de motores y/o turbinas diesel.
- Adquirir electricidad de otros países.
- Aplicar racionamiento eléctrico.

5.2. Corto plazo

Para solucionar los problemas de corto plazo se proponen las siguientes alternativas:

- Generación de nuevas leyes que fomenten la utilización de energías renovables (eólica, solar, pequeñas centrales hidroeléctricas, geotermia y biomasa).
- Proyecto del gas natural licuado (GNL).
- Utilización de Biomasa en la producción de energía utilizando los residuos de la explotación maderera, como un insumo para generar electricidad. Esta es una técnica conocida que ya se ha implementado en algunos casos en Chile.
- En cuanto a la geotermia, el agua caliente o vapor puede ser convertido en electricidad de forma relativamente fácil. El costo importante es en exploración para definir pozos productivos.

mbox

5.3. Mediano plazo

Para solucionar los problemas de largo plazo se proponen las siguientes alternativas:

- La diversificación de las fuentes abastecedoras de energía y la optimización del uso de los recursos energéticos renovables son soluciones que atacan directamente los principales problemas energéticos actuales.
- Una verdadera diversificación necesita de gas natural, gas natural licuado, centrales hidroeléctricas y a carbón, además de energías renovables y, fundamentalmente, con eficiencia energética.
- A esto hay que agregar que la generación energética tiene que ir acompañada de una política de generación limpia, donde realmente se respeten las condiciones medioambientales.