

Universidad del Bío Bío  
Facultad de Ingeniería  
Depto. Ingeniería Industrial

Profesor Guía: Sr. Francisco Ramis



**GENERACIÓN ELÉCTRICA GEOTÉRMICA EN CHILE:  
ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES PARA SU DESARROLLO SUSTENTABLE**

**ELECTRICAL GEOTHERMIC POWER GENERATION IN CHILE:  
ANALYSIS OF CONDITIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

Noviembre, Concepción 2007

Sebastián Agustín Barriga Grez

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |            |
|--|------------|
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>   | <b>i</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>  | <b>iii</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>   | <b>iii</b> |
| <b>RESUMEN</b>   | <b>v</b>   |
| <b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1 ORIGEN DEL TEMA  | 1          |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN  | 1          |
| 1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO  | 2          |
| 1.3.1 Objetivo General:  | 2          |
| 1.3.2 Objetivos específicos:   | 2          |
| 1.4 ALCANCE O ÁMBITO DEL ESTUDIO   | 3          |
| 1.5 METODOLOGÍA PROPUESTA  | 3          |
| 1.6 PRESENTACIÓN DEL TRABAJO   | 4          |
| <b>CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL</b>                                      | <b>5</b>   |
| 2.1 DEFINICIÓN DE “SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA”                           | 5          |
| 2.2 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL  | 6          |
| 2.3 ENERGÍAS RENOVABLES  | 8          |
| 2.4 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES (ERNC)                         | 9          |
| 2.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA   | 11         |
| 2.5.1 Origen y distribución de los Recursos Geotérmicos                  | 13         |
| 2.5.2 Estructura y Tipos de Sistemas Geotérmicos                         | 17         |
| 2.5.3 Etapas del Desarrollo Geotérmico                                   | 20         |
| 2.5.4 Tipos de Centrales Geotérmicas                                     | 23         |
| 2.5.5 Ventajas y Desventajas de la Energía Geotérmica                    | 26         |
| <b>CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO</b>       | <b>29</b>  |
| 3.1 SEGURIDAD DEL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN LA UNIÓN EUROPEA          | 29         |
| 3.1.1 Comisión Europea: Libro Verde de Seguridad Energética              | 29         |
| 3.1.2 Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible:                        | 30         |
| 3.2 DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y ERNC EN PAÍSES DESARROLLADOS | 31         |
| 3.2.1 Incentivo a las ERNC en EEUU                                       | 32         |
| 3.2.2 Incentivo a las ERNC en la UE                                      | 32         |
| 3.2.3 ERNC en Otros Países   | 38         |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.3  | DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO _____   | 39        |
| 3.3.1  | Ubicación Geográfica, Zonas Geológicas y Países Productores _____                                       | 39        |
| 3.3.2  | Generación de Energía Geotérmica en el Mundo _____  | 39        |
| 3.4  | SEGURIDAD DEL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO Y DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA LATINA _____ | 43        |
| 3.5  | DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE _____                                 | 48        |
| 3.5.1  | CEPAL y Comisión Europea: Programa Geotérmico “Proyecto CEPAL/CE” _____                                 | 49        |
| <b>CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LAS ERNC EN CHILE _____</b> |   | <b>52</b> |
| 4.1  | SEGURIDAD EN EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN CHILE ____   | 52        |
| 4.1.1  | Plan de Seguridad Energética PSE _____  | 54        |
| 4.2  | ERNC EN CHILE _____   | 55        |
| 4.2.1  | Potencial de ERNC _____   | 56        |
| 4.2.2  | ERNC en el Plan de Seguridad Energética (PSE) _____   | 57        |
| 4.2.3  | Tipos de ERNC Desarrolladas y con Potencial en Chile _____  | 59        |
| 4.3  | INCENTIVOS A LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN CHILE _____                                   | 66        |
| 4.3.1  | Ley Corta I y II _____  | 68        |
| 4.3.2  | Actividades de Promoción _____  | 68        |
| 4.4  | VENTAJAS DE LAS ERNC EN EL ÁMBITO DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO _____  | 70        |
| 4.5  | DESVENTAJAS DE LAS ERNC _____   | 70        |
| 4.6  | BARRERAS PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ERNC EN CHILE _____                                       | 71        |
| <b>CAPÍTULO 5: GEOTERMIA EN CHILE _____</b>              |   | <b>72</b> |
| 5.1  | ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA _____   | 72        |
| 5.2  | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA GENERACIÓN GEOTERMOELÉCTRICA _____                                       | 72        |
| 5.2.1  | Ventajas de la GEOTERMOELETRICIDAD _____  | 74        |
| 5.3  | CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS Y RIESGOS VINCULADOS A LA GENERACIÓN GEOTERMOELÉCTRICA _____                 | 74        |
| 5.3.1  | Factores que influyen en el costo de una planta geotérmica _____  | 75        |
| 5.3.2  | Costos Asociados _____  | 76        |
| 5.3.3  | Costos de Instalar una Planta Geotérmica _____  | 81        |
| 5.3.4  | Riesgos que implica el desarrollo de Generación Geotérmica _____  | 83        |
| 5.4  | ANTECEDENTES DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA EN CHILE _____   | 84        |
| 5.5  | POTENCIAL RECURSOS GEOTÉRMICOS _____  | 87        |
| 5.5.1  | Zonas Geotérmicas en el Norte de Chile _____  | 88        |
| 5.5.2  | Zonas Geotérmicas en el Sur de Chile _____  | 89        |
| 5.6  | ESCENARIO PARA EL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA EN CHILE   | 90        |

|                                       |  |            |
|---------------------------------------|--|------------|
| 5.6.1                                 | Antecedentes _____   | 90         |
| 5.6.2                                 | Escenario Actual Para el Desarrollo de la Geotermia en Chile _____ | 92         |
| 5.6.3                                 | Desarrollo de las Dimensiones: _____                               | 94         |
| <b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES _____</b> |  | <b>104</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA _____</b>             |  | <b>114</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Tabla N° 2.1: | Fuentes de Energía. Renovables y No Renovables _____   | 9  |
| Tabla N° 3.1: | Capacidad instalada (MW) de aprovechamiento geotérmico a nivel mundial (2005) _____                            | 43 |
| Tabla N° 3.2: | Situación Energética en Centroamérica. _____   | 52 |
| Tabla N° 5.1: | Costos asociados a la fase de perforación de pozos. _____  | 76 |
| Tabla N° 5.2: | Costo unitario de la energía producida según tamaño de la planta geotérmica y la calidad del yacimiento. _____ | 77 |
| Tabla N° 5.3: | Costos Directos de Capital (US\$/kW capacidad instalada). _____  | 79 |
| Tabla N° 5.4: | Costos de operación y mantenimiento de una planta geotérmica. _____  | 81 |
| Tabla N° 5.5: | Costos comparativos de generación eléctrica. _____   | 81 |
| Tabla N° 5.6: | Catastro de Manifestaciones Termales en Chile. _____   | 89 |
| Tabla N° 5.7: | Características de las Concesiones de Exploración y Explotación. _____   | 97 |
| Tabla N° 5.8: | Concesiones de exploración geotérmica vigentes en Chile a abril de 2004. _____                                 | 98 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| Figura N° 2.1: | Participación ERNC en el Total de Energía Primaria _____   | 8  |
| Figura N° 2.2: | Capacidad instalada de ERNC en países desarrollados. _____ | 11 |
| Figura N° 2.3: | Distribución Mundial de Placas Tectónicas. _____           | 13 |
| Figura N° 2.4: | Distribución Mundial de Volcanes. _____                    | 14 |

|   |    |
|---|----|
| Figura N° 2.5: Usos en línea de la energía geotérmica (Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon, USA) | 15 |
| Figura N° 2.6: Fuentes Termales de Larderello.  | 16 |
| Figura N° 2.7: Modelo del Sistema Geotérmico y Principales Factores que lo Controlan.               | 18 |
| Figura N° 2.8: Representación Esquemática de un Sistema Geotérmico Ideal.                           | 18 |
| Figura N° 2.9: Modelo de un Sistema Geotérmico.   | 20 |
| Figura N° 2.10: Esquema de una Planta Geotermoeléctrica de Contrapresión.                           | 24 |
| Figura N° 2.11: Esquema de una Planta Geotermoeléctrica de Condensación.                            | 25 |
| Figura N° 2.12: Esquema de una Planta Geotermal Binaria.  | 26 |
| Figura N° 3.1: Oferta Energética - América Latina y el Caribe (2002).                               | 48 |
| Figura N° 4.1: Capacidad Instalada de Generación Eléctrica por Sistema: 2005.                       | 60 |
| Figura N° 5.1: Costos asociados a la Fase de Perforación de los pozos.                              | 76 |
| Figura N° 5.2: Costos de Exploración según profundidad de exploración.                              | 77 |
| Figura N° 5.3: Costo unitario de la energía producida en yacimientos de alta calidad.               | 78 |
| Figura N° 5.4: Costo unitario de la energía producida en yacimientos de media calidad.              | 78 |
| Figura N° 5.5: Energía Geotérmica: Oportunidad y Costo Energético.                                  | 82 |
| Figura N° 5.6: Gastos y Riesgos previos al desarrollo Geotérmico.                                   | 84 |
| Figura N° 5.7: Potencial Geotérmico en Chile.   | 88 |

## RESUMEN

Este proyecto tiene la finalidad de investigar, analizar y determinar si los actuales factores que conforman el escenario chileno requerido para el desarrollo de la energía geotermoeléctrica; favorecen la exploración, explotación y desarrollo sustentable de los recursos geotérmicos.

El gran potencial geotérmico que exhibe Chile debido a su ubicación geográfica, convierte a la energía geotérmica en una opción viable para la generación de electricidad; presentando importantes ventajas frente a las energías convencionales tales como seguridad del suministro al disminuir la dependencia externa y aumentar la diversificación de fuentes energéticas. Además, la energía geotérmica posee una alta calidad, bajos costos operacionales y bajos impactos ambientales con un adecuado manejo.

Como parte de las ERNC (Energías Renovables no Convencionales), la energía geotérmica puede contribuir a diversificar la matriz energética nacional, dependiente altamente de la importación de energías convencionales fósiles. El desarrollo efectivo y eficaz de los recursos geotérmicos en Chile podría ser una contribución a la seguridad del abastecimiento energético, en un escenario que exhibe un aumento sostenido de la demanda de electricidad y permanentes oscilaciones del suministro externo.

En la Política de Seguridad Energética (PSE) impulsada por el gobierno, las ERNC en general y la geotermia en particular, constituyen un aporte significativo a la seguridad del suministro energético, y además incorporan la sustentabilidad ambiental incluida en las políticas energéticas. Por eso, la PSE contempla promover y desarrollar todas las acciones necesarias para que el 15% de la nueva capacidad eléctrica instalada hacia el 2010 se logre a partir de ERNC. (Actualmente sólo representa el 2,4%). Para el logro de esta meta, las condiciones de competencia para las ERNC creadas por el marco regulatorio vigente desde 2004 ha impulsado su desarrollo mejorando la viabilidad técnica y económica de este tipo de proyectos, gracias a los privilegios otorgados.

Es de suma importancia para la seguridad y diversificación de fuentes de la Matriz energética nacional, contar con recursos locales de generación eléctrica que exhiben costos de generación estables y contribuyen a disminuir la incertidumbre del precio de largo plazo de la energía. En el caso de los recursos geotérmicos, estos presentan además la ventaja de no depender de condiciones meteorológicas para su existencia, por lo que pueden garantizar la estabilidad de la energía geotermoeléctrica.

Por lo expuesto anteriormente, se propone en este trabajo descubrir, investigar y analizar los distintos factores que conforman el escenario actual en Chile para el desarrollo sustentable de la energía geotérmica; generando un diagnóstico que permita conocer las barreras e incentivos para su avance.

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1 ORIGEN DEL TEMA**

El suministro energético nacional es un tema recurrente cada año, principalmente por las variaciones externas que afectan volúmenes y precios. Por lo anterior, gobierno y empresas están impulsando iniciativas para diversificar la matriz energética nacional, y en este sentido, la utilización de energía geotérmica en Chile es un tema reciente.

El Seminario Internacional: “Estrategias para el desarrollo de la industria geotérmica en Chile”, realizado en nuestro país en julio del 2006 y patrocinado por Fundación Chile; transfirió conocimientos y un diálogo público-privado; y como muestra de este interés creciente en este recurso renovable; catalogó a la geotermia como una importante apuesta de desarrollo futuro en el país.

Como Analista de Contratos de la Subgerencia de Aprovisionamientos de ENDESA, he estado en permanente contacto con licitaciones para proyectos de inversión destinados al desarrollo energético del País. En este sentido, he confirmado de manera directa la escasa cantidad de iniciativas vinculadas a energías renovables no convencionales (ERNC) como por ejemplo, la geotermia, cuya experiencia en el mundo para generar electricidad ha sido reconocidamente exitosa.

### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

De acuerdo a los antecedentes investigados, la energía geotérmica no utilizada aún en nuestro país, ofrece importantes ventajas frente a energías convencionales. Al disminuir la dependencia externa y aumentar la diversificación de fuentes energéticas, ofrece seguridad del suministro.

Por otra parte, y según experiencias en otros países como México, Nueva Zelanda, Estados Unidos y Alemania, entre otros; la energía geotérmica posee

una alta calidad, bajos costos operacionales y bajos impactos ambientales con un adecuado manejo.

El Plan de Seguridad Energética impulsado por el gobierno, tiene como objetivo que el 15% del aumento que se logre en la capacidad instalada de generación eléctrica al 2010 se alcance con Energías Renovables No Convencionales (ERNC), tales como geotermia, biomasa, eólica, mini hidro; de lo cual 1/5 deberá ser aportado por la geotermia.

Por todo lo anteriormente expuesto, analizar las condiciones de explotación de esta nueva fuente energética, tanto a nivel legal, tecnológico, de infraestructura, capacidades locales y servicios especializados, entre otros; permitirá conocer si el escenario actual favorece su desarrollo sustentable.

### **1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL:**

Diagnosticar la situación actual en Chile respecto a la energía geotérmica y concluir si el escenario nacional conformado por diversos factores, es una plataforma efectiva para su sustentabilidad.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Investigar el contexto energético internacional; el desarrollo de las ERNC en general, y de la geotermia en particular
- Analizar el contexto energético de Chile, sus fuentes y estructura, así como la participación de las ERNC en la matriz nacional.
- Detallar el potencial geotérmico en Chile, su distribución según áreas geográficas, y las posibilidades de utilización en Chile.
- Estudiar el Marco legal que regula la exploración y explotación de la energía Geotérmica en Chile.

- Examinar la variable económica presente en todas las etapas de un proyecto geotérmico.
- Descubrir y explorar los diversos factores que influyen en el desarrollo sustentable de los recursos geotérmicos para la generación de electricidad.

## **1.4 ALCANCE O ÁMBITO DEL ESTUDIO**

Debido a las características de este trabajo y su objetivo, se pretende descubrir si el escenario general que presenta Chile fomenta la utilización eficiente y eficaz de la energía geotérmica. Todo esto según instituciones públicas y privadas, entendidos en la materia, así como el marco legal existente para su funcionamiento.

El diagnóstico que resulte de esta investigación es importante porque permitirá descubrir el escenario actual conformado por los distintos factores que favorecen o dificultan la generación de energía eléctrica en Chile, a partir de energía geotérmica.

El resultado de este trabajo será una fotografía del momento, que revelará la situación de nuestro país en esta materia, en base a la investigación bibliográfica realizada.

Con respecto a la aplicabilidad del proyecto, este es un material de consulta para ingenieros, docentes y estudiantes entre otros; que se interesen en el tema de la sustentabilidad de la energía geotérmica en Chile y en las condiciones actuales para que ello suceda.

## **1.5 METODOLOGÍA PROPUESTA**

El diseño de esta investigación corresponde a un plan coherente y racional de trabajo, con una estrategia orientada a la correcta selección de técnicas de recolección y análisis de los datos.

Por las características de este trabajo de investigación, el diseño más idóneo es el bibliográfico; donde a partir de investigaciones, estudios, archivos, bibliotecas

privadas, notas de prensa, revistas especializadas, organismos e instituciones públicas o privadas, Internet, libros y otras publicaciones; es posible concebir y resolver nuevos planteamientos.

La etapa inicial de esta metodología es conocer y explorar el conjunto de fuentes capaces de ser de utilidad en la investigación. Luego se ordena el material (con el objeto de recolectar los datos) por medio de fichas de acuerdo a sus contenidos.

El principal beneficio de una investigación bibliográfica es que puede cubrir una amplia gama de fenómenos, ya que no sólo tiene que basarse en los cuales tienen acceso, sino que puede extenderse para abarcar una experiencia mayor.

Algunas de las tareas básicas para el manejo de la información bibliográfica que se utilizarán en este trabajo son:

1. Conocer y explorar todo el conjunto de fuentes que pueden resultar de utilidad.
2. Leer todas las fuentes disponibles de manera discriminatoria.
3. Recolectar datos.
4. Elaborar un esquema de exposición del informe final; a partir del análisis, la síntesis y la redacción del informe de investigación.
5. Cotejo o comparación de las fuentes de información, tratando de evaluar la confiabilidad de la información, para realizar síntesis parciales y comparaciones particulares.
6. Generar conclusiones, supeditadas al objetivo general y a los objetivos específicos definidos al inicio de esta investigación.

## **1.6 PRESENTACIÓN DEL TRABAJO**

El trabajo está dividido en seis capítulos. En el capítulo 2 se describe un Marco Conceptual que analiza la evolución energética dentro de la matriz mundial, la incorporación de las energías renovables, especialmente de las ERNC; y un completo estudio acerca de la energía geotérmica en el mundo, su ubicación, usos, etapas y características de su explotación.

En el capítulo 3 se realiza un recorrido por el tema de la seguridad del abastecimiento energético en la Unión Europea y en América Latina; y se analiza el desarrollo de las energías renovables, ERNC, y energía geotérmica en ambos escenarios.

El capítulo 4 abarca principalmente la seguridad del suministro energético en Chile y las iniciativas emprendidas para reducir los riesgos implicados; además detalla las ERNC con potencial en el país, los diversos incentivos para potenciar su desarrollo, y las ventajas y desventajas de este tipo de energías.

El capítulo 5 describe la geotermia en Chile, sus características técnicas y económicas; describe cronológicamente la exploración geotérmica en el país; detalla el potencial y ubicación geográfica de los recursos; y analiza los diversos factores que conforman el escenario actual para el desarrollo sustentable de esta energía.

Finalmente, en el capítulo 6 se detallan las conclusiones obtenidas a lo largo del estudio realizado.

## **CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 DEFINICIÓN DE “SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA”**

Al inicio del desarrollo de esta investigación se define el concepto “Sustentabilidad Energética”, con el fin de determinar un marco de referencia para este estudio.

De acuerdo a lo señalado por el Profesor Pedro Maldonado, ingeniero civil eléctrico de la Universidad de Chile (2006), existen pilares e indicadores de la sustentabilidad energética, y aunque hay diferentes puntos de vista para definirlos, están los catalogados como básicos para cualquier análisis al respecto.

Pilares de la Sustentabilidad Energética:

- Abastecimiento seguro, oportuno, de calidad y a costo razonable.

- Energía y equidad. La inequidad se expresa en limitaciones en el acceso a la energía, en cantidad y condiciones de uso; ya sea por dificultades de ubicación geográfica o por problemas económicos de la población.
- Energía y sustentabilidad ambiental. La mayoría de los grandes proyectos energéticos han sido cuestionados por comunidades afectadas y por la sociedad en general, debido a sus impactos ambientales considerados no resueltos del todo.
- Reducción de la dependencia energética.
- Energía, participación ciudadana informada y democracia. El fortalecimiento de la democracia constituye un pilar de la sustentabilidad del desarrollo, lo que en el área de la energía significa, entre otros, crear las vías adecuadas de participación ciudadana informada para analizar tanto la localización de los proyectos como las tecnologías a privilegiar y, por otra parte, reducir los elevados niveles de concentración de la propiedad en el sector energía.

Además, Maldonado agrega que existen algunos factores tecnológicos para una política energética sustentable, tales como: el uso eficiente de la energía, la diversificación de las fuentes convencionales, las energías renovables no convencionales (ERNC), la sustitución de fuentes y la generación eléctrica (y de calor) distribuida. (Maldonado, 2006)

## **2.2 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL**

El uso y explotación de los recursos energéticos de origen fósil constituye el actual modelo de desarrollo en el mundo. La participación de estos combustibles en la matriz energética ha sido esencial desde la Revolución Industrial hasta ahora, convirtiéndose en las fuentes energéticas del desarrollo económico del planeta.

Por otra parte, este vertiginoso incremento del suministro energético se ha traducido en mayor impacto ambiental, generado por la explotación de los recursos que, por su lenta velocidad de regeneración versus su explotación, son clasificados como no renovables (capital energético). Los impactos ambientales

que estos combustibles generan tales como cambio climático, lluvia ácida, capa de ozono, smog; han empujado a la comunidad internacional a buscar un nuevo modelo de desarrollo (Desarrollo Sostenible), que pueda mantener a salvo las necesidades de las futuras generaciones.

Por lo anterior, unido a la incertidumbre acerca del suministro de combustibles fósiles debido al constante clima de tensión en los países productores de petróleo; la diversificación de la matriz energética a nivel mundial es una necesidad real y permanente. (Jara, 2006)

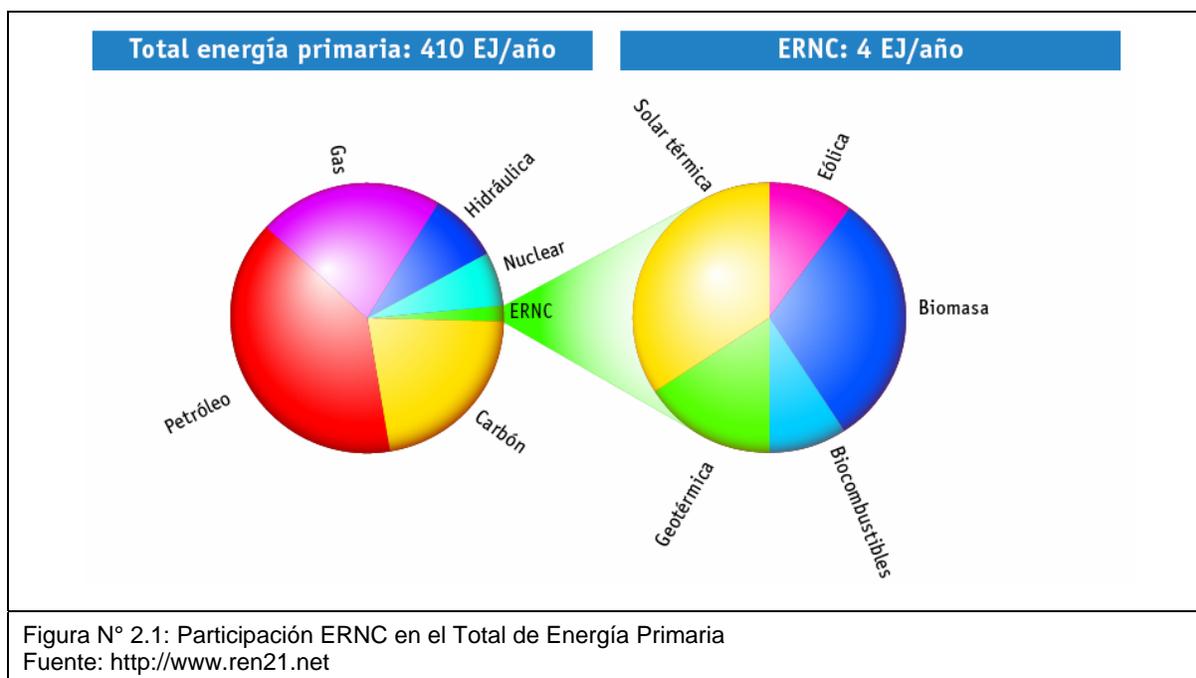
Siguiendo el ritmo actual de extracción, las reservas estimadas de carbón durarán 1.500 años, las de gas natural 120 y las de petróleo, 60 años. El mejoramiento de las tecnologías de extracción aumentará la duración de las reservas, al acceder a las zonas marítimas profundas. No existe un problema de agotamiento de los combustibles fósiles en lo inmediato, aunque el consumo actual es 100.000 veces más rápido que su velocidad de formación; la verdadera dificultad es por ejemplo su efecto sobre la atmósfera, donde se acumula el dióxido de carbono y otros gases de invernadero, con el consiguiente calentamiento.

Las energías convencionales que se utilizan para la generación eléctrica a gran escala presentan procesos tecnológicos consolidados, basados principalmente en el uso de combustibles fósiles, en ocasiones asociados a impactos negativos sobre el medio ambiente. Así, la producción, transformación y consumo final de esa energía es la causa principal de la contaminación.

La grave crisis ambiental, el agotamiento de los recursos y los desequilibrios entre el Norte y el Sur, son factores que obligan a acometer una nueva política energética. A corto plazo la prioridad es incrementar la eficiencia energética, pero ésta tiene unos límites económicos y termodinámicos, por lo que a más largo plazo sólo el desarrollo de las energías renovables permitirá resolver los grandes retos del futuro. Las energías renovables son la única solución sostenible. (Las energías renovables son el futuro, 2004)

En este sentido, los países desarrollados, principalmente los de la Unión Europea, han sido los pioneros en la búsqueda de nuevas alternativas de suministro energético, en tanto las herramientas administrativas y reglamentarias, así como

las características del mercado permiten la entrada de nuevas iniciativas energéticas basadas en fuentes renovables no convencionales (ERNC). Si bien las ERNC aun exhiben una participación marginal dentro del total de energía primaria a nivel mundial (Ver Figura N° 2.1), estas energías surgen como una opción limpia, segura y sobre todo inagotable (ingreso energético, Ver Figura N° 2.1). (Jara, 2006)



## 2.3 ENERGÍAS RENOVABLES

Estas energías se reconocen 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. Por otra parte, según su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables la energía generada a partir de la biomasa y la energía geotérmica.

Las energías renovables se clasifican en convencionales y no convencionales, dependiendo del grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la entrada en los mercados energéticos que exhiban. Dentro de las

convencionales, la más conocida es la hidráulica a gran escala. (Comisión Nacional de Energía). Además están otras menos conocidas pero no nuevas como la leña.

Actualmente las energías renovables aportan un 20% del consumo mundial, siendo aún enorme su potencial.

Todas las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar, excepto la geotermia. Directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de las energías eólica, hidráulica, mareas, olas y biomasa, entre otras. (Ver Tabla N° 2.1) (Energía geotérmica: Calor generado por la Tierra, 2004)

Tabla N° 2.1: Fuentes de Energía. Renovables y No Renovables

| <b>RENOVABLE<br/>(Ingreso energético)</b> | <b>NO RENOVABLE<br/>(Capital energético)</b> |
|---|--|
| Energía hidráulica                        | Petróleo                                     |
| Viento                                    | Gas natural                                  |
| Geotermia                                 | Carbón                                       |
| Solar                                     | Nuclear                                      |
| Biomasa                                   |  |
| Mareomotriz                               |  |

Fuente: CNE

## 2.4 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES (ERNC)

Entre las ERNC están la eólica, la solar, la geotérmica y la mareomotriz. Además, existen varios procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa que pueden ser catalogados como ERNC. Asimismo, el aprovechamiento de la energía hidráulica en pequeñas escalas se puede clasificar en esta categoría.

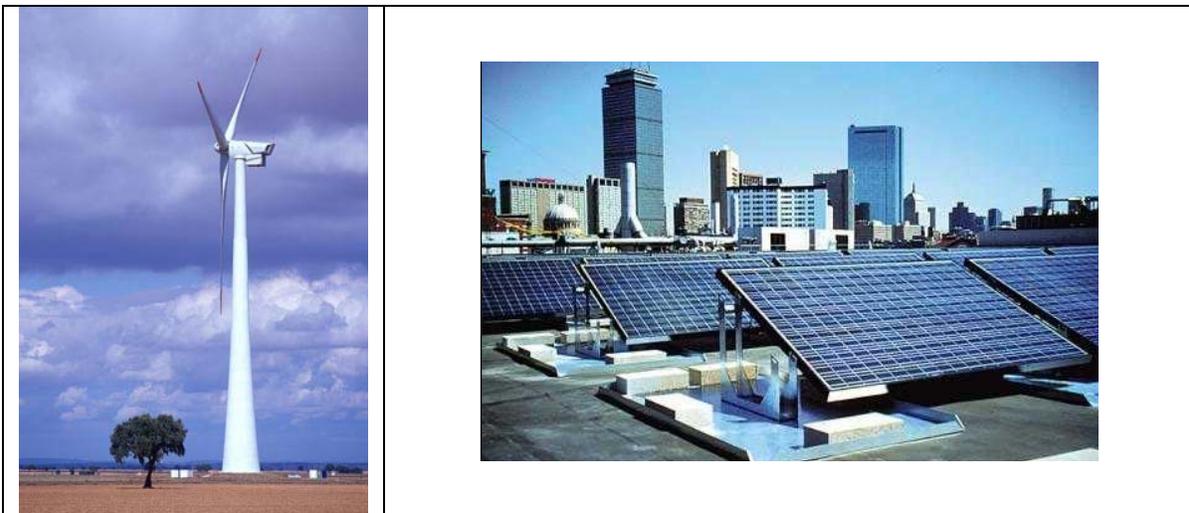
Dependiendo de la forma de utilización de las ERNC, estas pueden provocar impactos ambientales significativamente menores a los generados por los

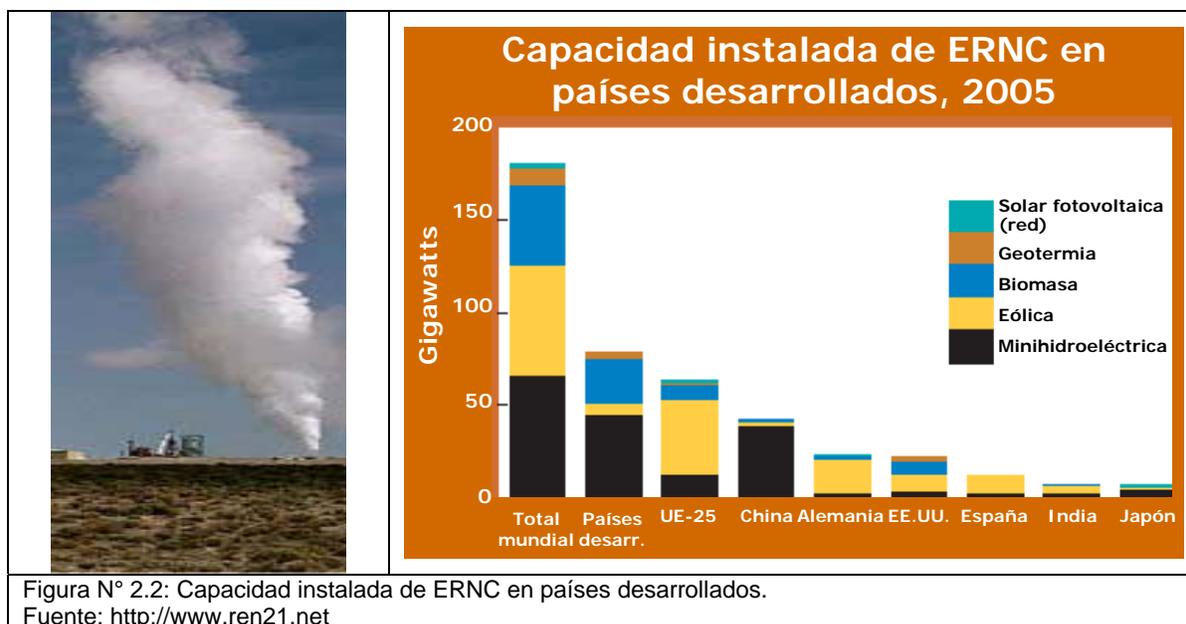
recursos convencionales de energía; y pueden contribuir a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas.

La importancia de dicha contribución y la viabilidad económica de su desarrollo estaría supeditada a las características de cada país respecto al potencial explotable de los recursos renovables, su ubicación geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirían. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

El desarrollo tecnológico de las ERNC es todavía reciente y usa mecanismos de generación con escaso impacto ambiental. Su participación y entrada en el mercado mundial, especialmente en la generación de electricidad, depende del nivel de crecimiento de los países y de los adelantos tecnológicos y económicos que posean. (Ver Figura N° 2.2) (Jara, 2006)

Por otra parte, el lento desarrollo de los recursos renovables no convencionales se explica principalmente por la estacionalidad de su uso y por el alto grado de estudios necesarios para implementarlas y almacenarlas, lo que se traduce en la práctica que satisfagan un porcentaje bajo (alrededor del 10% ) de los requerimientos energéticos mundiales. (Energía geotérmica: Calor generado por la Tierra, 2004)





## 2.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es la energía calórica contenida en el interior de la tierra, que se transmite por conducción térmica hacia la superficie. Es un recurso parcialmente renovable y de alta disponibilidad, y el conjunto de técnicas utilizadas para la exploración, evaluación y explotación de la energía interna de la tierra se conoce como geotermia.

Existen dos clases de áreas térmicas: las **hidrotérmicas**, que presentan agua a presión alta y temperatura almacenada bajo la corteza de la tierra en una roca permeable cercana a una fuente de calor; y **sistemas de roca caliente**, formados por capas de roca impermeable que recubren una zona calorífica. Con el fin de aprovechar este último sistema, se perfora hasta alcanzarlo, se inyecta agua fría y ésta se utiliza una vez calentada.

Actualmente, los reservorios hidrotérmicos son los más utilizados para fines energéticos, específicamente en la generación de electricidad, y su conformación es determinada por los siguientes factores:

- Fuente de calor no muy profunda y próxima al reservorio. Esta fuente de calor puede generarse por la actividad volcánica o por la interacción entre dos placas tectónicas.
- Formaciones geológicas permeables que contenga el reservorio.
- Estructuras geológicas sobre el yacimiento, que actúen como una capa sello, impermeable, ayudando a la conservación del calor y la presión del reservorio.
- Área de recarga hídrica del reservorio, que condiciona la característica de renovable del recurso geotérmico.

En cuanto a la utilización de los reservorios hidrotérmicos, la manera más antigua de aprovechamiento de esta energía ha sido su uso medicinal y turístico. Por otra parte, dependiendo de su entalpía, tiene aplicaciones en: calefacción de viviendas, usos agrícolas, piscicultura y usos industriales. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

La geotermia es un recurso que se puede encontrar bajo la forma de volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas geológicamente recientes, esto es, con actividad en los últimos diez o veinte mil años en la corteza terrestre.

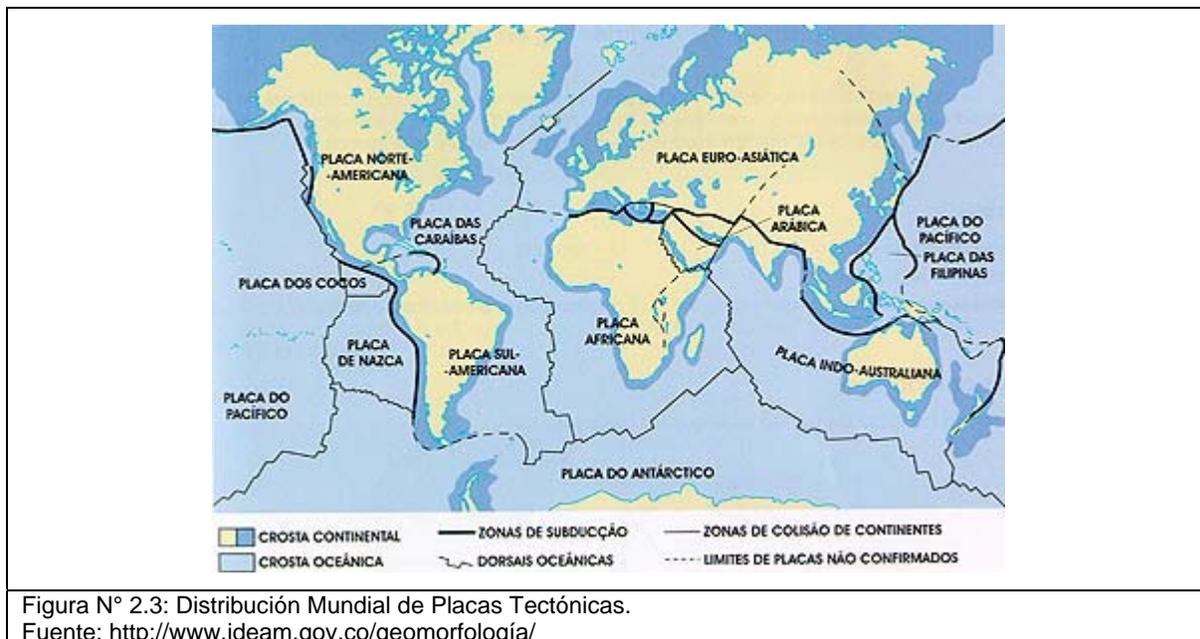
Para poder obtener esta energía se requiere de yacimientos de agua caliente cerca de esas áreas. Una descripción básica del proceso de extracción es la siguiente: se perfora el suelo y se extrae el líquido, que sale en forma de vapor si su temperatura es suficientemente alta y se puede utilizar para accionar una turbina que con su rotación mueve un generador que produce energía eléctrica. Posteriormente, mediante un proceso de inyección, el agua geotérmica utilizada se devuelve al pozo para ser recalentada, mantener la presión y sustentar la reserva.

Entre 1995 y 2002 la potencia geotérmica instalada en el mundo creció de manera continuada, pasando de 6.837 a 8.356 megavatios, lo que representa un aumento de un 22,3%. (Energía geotérmica: Calor generado por la Tierra, 2004)

Es menor el área de terreno requerido por las plantas geotérmicas para generar un megavatio de potencia, que el que necesitan otra clase de estaciones energéticas. (Energía geotérmica: Calor generado por la Tierra, 2004)

## 2.5.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS

Según lo señalado anteriormente, los recursos geotérmicos constituyen la energía derivada del calor que se extrae mediante los fluidos geotérmicos que surgen de procesos naturales o artificiales de acumulación y calentamiento del subsuelo. Las zonas con mayores recursos geotérmicos accesibles son aquellas en que el magma está muy cerca de la superficie terrestre, con áreas de corteza terrestre delgada o fracturada (anillo de fuego). En Sudamérica, este anillo es originado por el choque de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana. (Ver Figura N° 2.3)



A mayor profundidad, con frecuencia se aprecia un aumento de la temperatura que se expresa en el gradiente geotérmico que, en promedio, a nivel mundial es

del orden de los 30° C/Km. A partir de esto, a 2.000 m de profundidad se tendría una temperatura de 60-70°C, lo cual es poco significativo como energía utilizable. No obstante, en ciertas regiones de la tierra se originan flujos calóricos o gradientes geotérmicos mucho mayores que el normal; el calor natural de esas zonas constituye la Energía Geotérmica y está generalmente asociada con actividad sísmica y volcánica.

La tectónica global de placas, que exhibe zonas o franjas claramente identificadas, explica de manera práctica la existencia de focos sísmicos, de anomalías del flujo calórico y de la actividad volcánica. A su vez, estas zonas, coinciden en la mayoría de los casos con los márgenes generativos o destructivos de placas litosféricas. Una de las zonas más importantes en este sentido, sigue el contorno del Océano Pacífico, en el cual se encuentran cerca del 60% del total de los volcanes existentes en el mundo. (Ver Figura N° 2.4) (Lahsen, 2000)

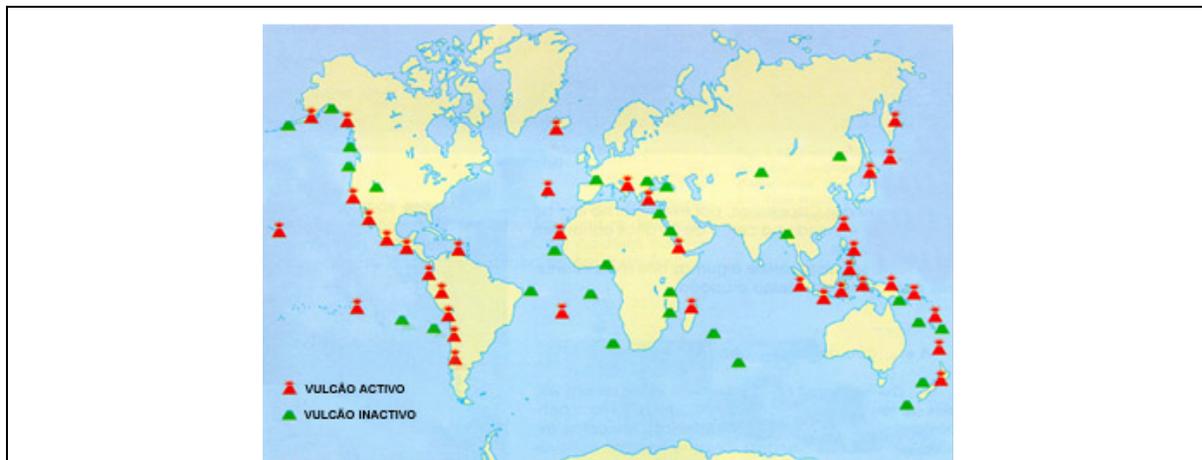


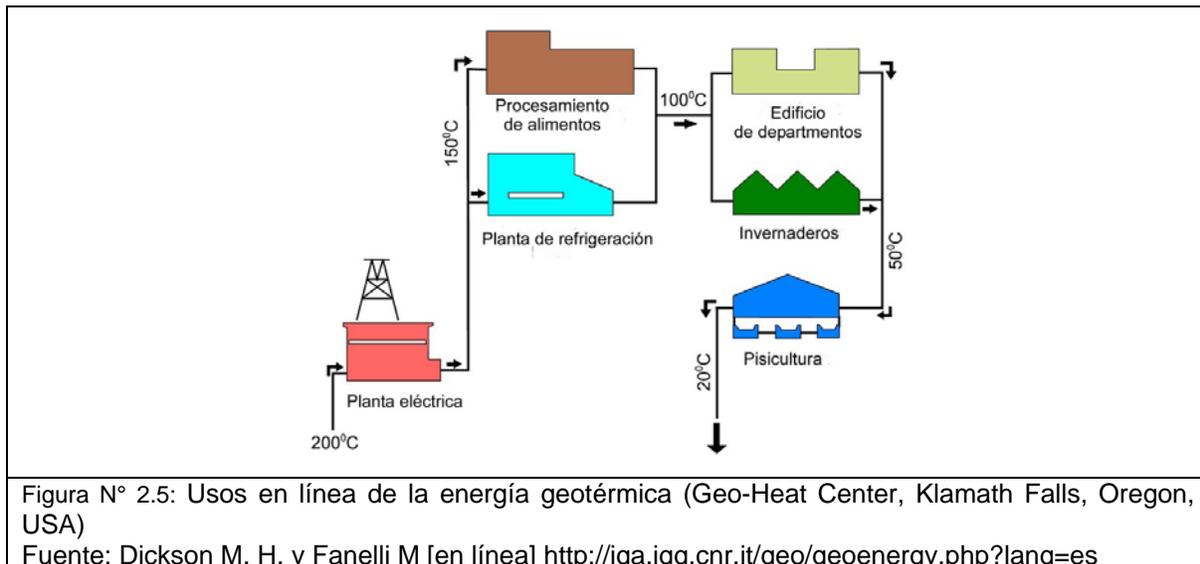
Figura N° 2.4: Distribución Mundial de Volcanes.  
Fuente: <http://www.ideam.gov.co/geomorfología>  
Utilización de los recursos geotérmicos

### 2.5.1.1 Antecedentes históricos y Usos

Las fuentes geotérmicas, según sus características y magnitud calórica, pueden ser aprovechadas no sólo para generar electricidad (alta entalpía), sino también para usos directos del calor (baja entalpía). (Ver Figura N° 2.5)

Desde épocas antiguas las fuentes termales han sido utilizadas como baños por las propiedades medicinales que se le atribuyen, así como por su condición recreativa. Algunos pueblos también las usaron para obtener agua potable a partir de los condensados del vapor, y para cocer sus alimentos. Existen registros históricos con respecto a su uso de más de dos mil años en China y existen ruinas romanas relacionadas con el aprovechamiento termal desde Siria hasta Inglaterra, doscientos años Antes de Cristo. La primera aplicación termal para calefacción residencial se desarrolló en Francia en el siglo XIV.

A fines del siglo XVIII, el descubrimiento de sales de Boro en las fuentes termales de Larderello (Italia) demarcó el inicio de la utilización industrial de los recursos geotérmicos, ya que en el año 1904 pudo encenderse la primera ampolla, transformando el calor de la tierra en electricidad. (Ver Figura N° 2.6) La industria del ácido bórico que comenzó en 1812, fue el precedente para aquella vez que se generó electricidad a partir del vapor geotérmico.



Siguiendo con su desarrollo, en 1913 se puso en funcionamiento una central de 250 Kw.; y desde entonces Italia ha ido aumentando su capacidad hasta lograr, en 1995, una potencia instalada de 632 MW.

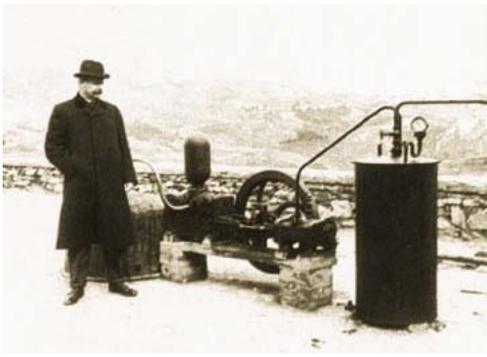
De manera paralela, en 1920 se hicieron pozos exploratorios en: Beppu (Japón) donde en 1924 se instaló una planta experimental de 1 Kw.; en *The Geysers* y

*Niland* (California) proyecto que fue abandonado por falta de mercado para la electricidad; en El Tatio (Chile) donde se perforaron 2 pozos hasta unos 60 m. de profundidad, este proyecto fue abortado por problemas financieros. En la década del 30 se efectuaron perforaciones en *Reykjavik* y *Reykim* (Islandia) donde el agua caliente obtenida se empezó a utilizar para calefacción ambiental. Con este mismo fin se realizaron los primeros sondajes en 1940, en *Rotorúa* (Nueva Zelanda).

A partir de la década de los 60 y en varias regiones del mundo, se comienza una intensa actividad de investigación y exploración de los recursos geotérmicos, con el objeto de aprovecharlos como energía calórica o para la generación de electricidad. De esta forma, en 1995 la capacidad instalada de plantas geotermoeléctricas alcanzaba a 6.790 Mwe, proyectándose para el año 2000 una capacidad de 9.960 Mwe.

Con respecto a usos directos de la energía geotérmica, tales como calefacción, procesos industriales o agropecuarios, alcanzaba según Freeston en 1995, a una magnitud equivalente a 8.300 Mw. (Lahsen, 2000)

Desde esa primera generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos en Larderello en 1904 hasta hoy, los avances de la tecnología de los materiales y el mayor conocimiento neocientífico han impulsado importantes avances en el desarrollo de la geotermia como fuente de electricidad. (Jara, 2006)

|  |  |
|--|--|
|   | <p>Máquina usada en Larderello en 1904. Primera experiencia de generación de energía eléctrica mediante vapor geotérmico. Inventor: Príncipe Piero Ginori Conti.</p> |
| <p>Figura N° 2.6: Fuentes Termales de Larderello.<br/>Fuente: Dickson M. H. y Fanelli M [en línea] <a href="http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=es">http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=es</a></p> |  |

## 2.5.2 ESTRUCTURA Y TIPOS DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS

### 2.5.2.1 Estructura de los Sistemas Geotérmicos

Existe un modelo básico de la estructura de los sistemas geotérmicos, construido gracias a los aportes de investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas de una gran cantidad de sistemas geotérmicos (Ver Figura N° 2.7 y Figura N° 2.8). Si bien cada sistema se diferencia en cierta medida de los demás, su presencia está condicionada por los siguientes factores esenciales:

- **Fuente de Calor:** Cuerpo de magma a unos 600-900°C, contenido a menos de 10 Km. de profundidad, desde el cual se trasmite el calor a las rocas aledañas.
- **Recarga de agua:** El agua meteórica o superficial es capaz de infiltrarse en el subsuelo, a través de fracturas o rocas permeables, hasta alcanzar la profundidad necesaria para ser calentada.
- **Reservorio:** Es el volumen de rocas permeables a una profundidad accesible mediante perforaciones, donde se almacena el agua caliente o el vapor (medios para utilizar el calor)
- **Cubierta impermeable:** Bloquea la salida de los fluidos hacia el exterior del sistema, normalmente corresponde a rocas arcillosas o a la precipitación de sales de las mismas fuentes termales. (Lahsen, 2000)

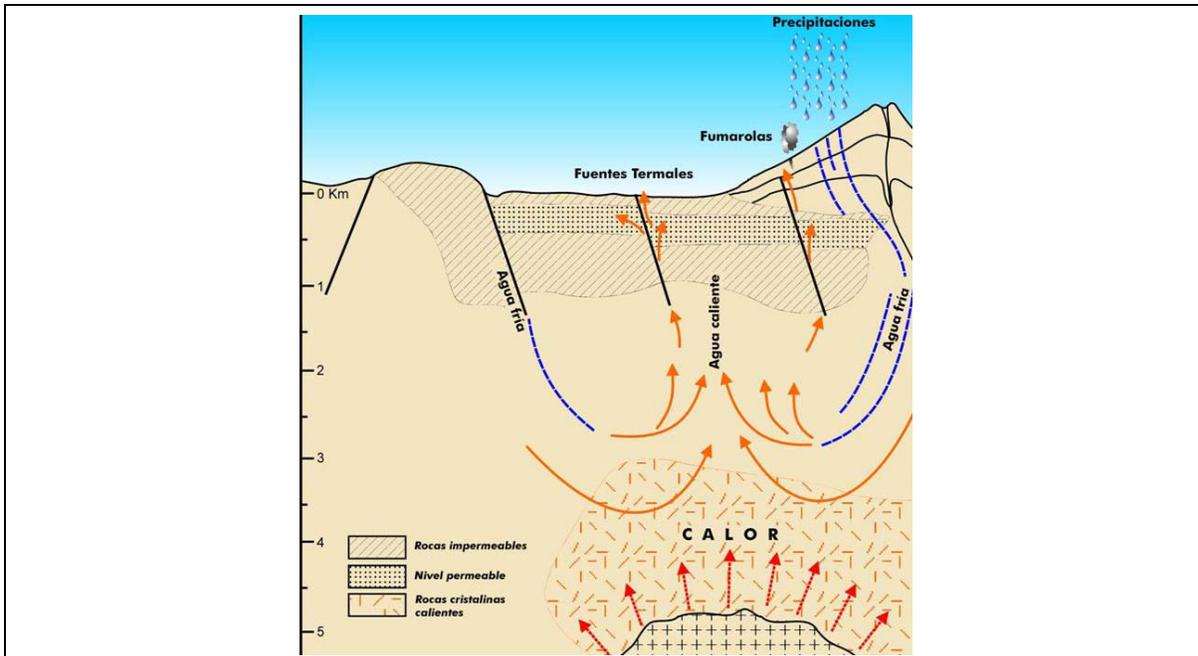


Figura N° 2.7: Modelo del Sistema Geotérmico y Principales Factores que lo Controlan.  
Fuente: Lahsen, 2000

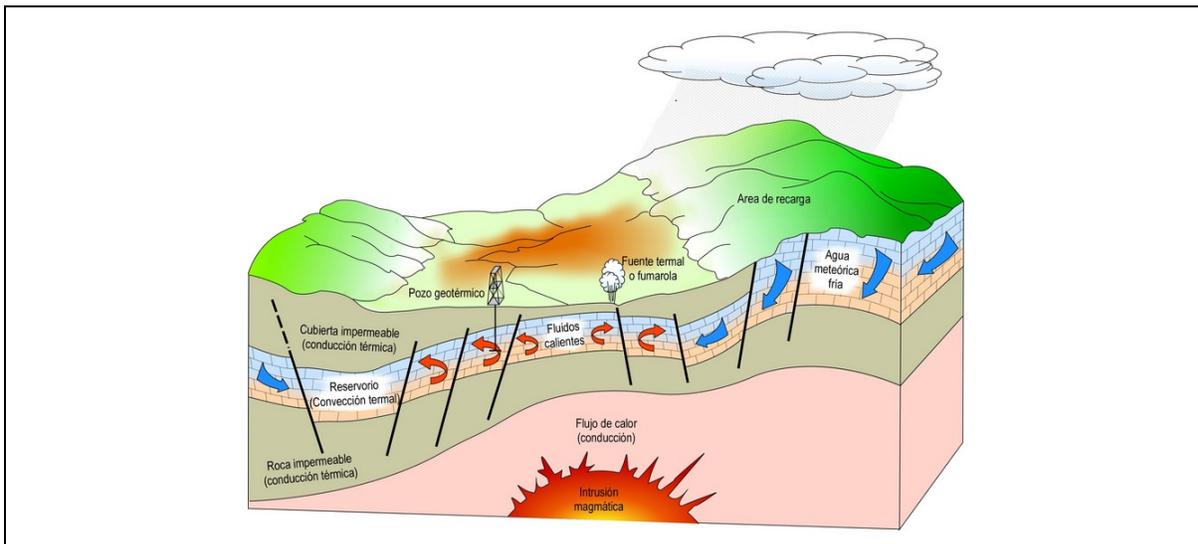


Figura N° 2.8: Representación Esquemática de un Sistema Geotérmico Ideal.  
Fuente: Dickson M. H. y Fanelli M [en línea] <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=es>

### 2.5.2.2 Tipos de Campos Geotérmicos

Según la temperatura a la que sale el agua, principalmente se reconocen tres clases de campos geotérmicos (Ver Figura N° 2.9):

- **Energía geotérmica de alta temperatura:** Existe en zonas activas de la corteza terrestre. Su temperatura va desde los 150 hasta los 400°C y se produce vapor en la superficie. Un campo geotérmico debe constar de un techo compuesto por rocas impermeables, un depósito o acuífero -de permeabilidad elevada y de entre 300 y 2.000 metros de profundidad- y de rocas fracturadas que permitan una circulación de fluidos y, por lo tanto, la transferencia de calor de la fuente a la superficie. La explotación de un campo de alta temperatura se realiza mediante perforaciones con técnicas muy similares a las de la extracción del petróleo.
- **Energía geotérmica de temperaturas medias:** Los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, frecuentemente entre 70 y 150°C. En consecuencia, la conversión vapor-electricidad se realiza con un menor rendimiento y las pequeñas centrales eléctricas pueden explotar estos recursos. La energía geotérmica de baja temperatura es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias.
- **Campo geotérmico de baja temperatura:** Los fluidos se calientan a temperaturas comprendidas entre 20 y 60°C. Esta energía se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas. Italia, Nueva Zelanda y Canadá, son ejemplos de lugares en los que la energía geotérmica favorece el consumo tradicional.

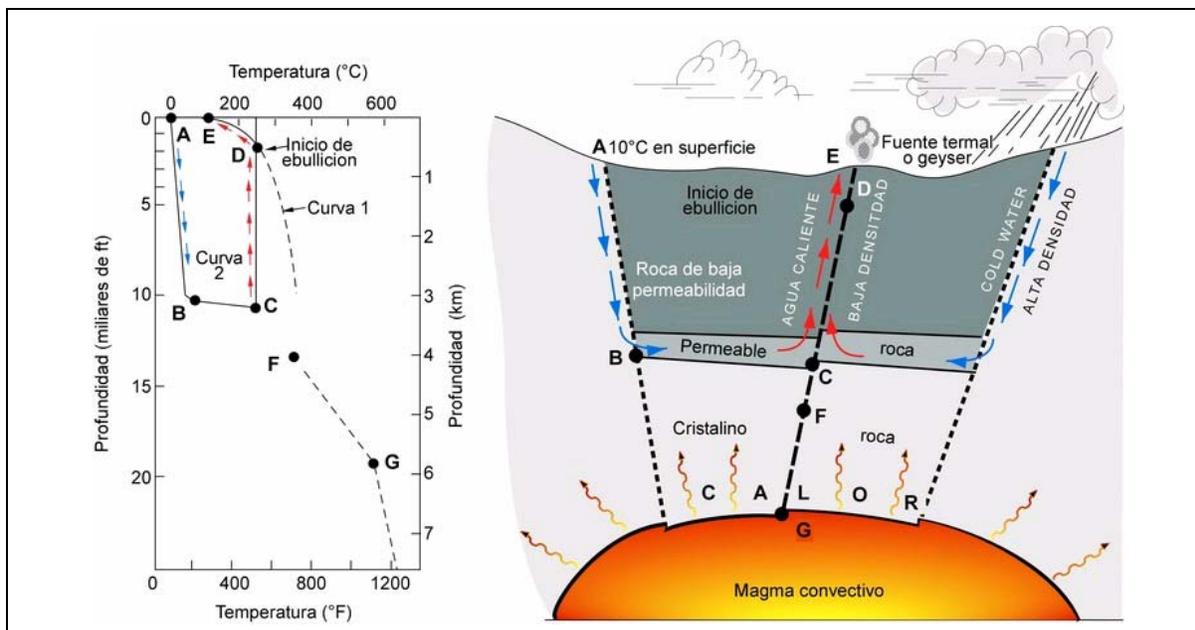


Figura N° 2.9: Modelo de un Sistema Geotérmico.  
 La curva 1 es la curva de referencia para el punto de ebullición del agua pura. La curva 2 muestra el perfil de temperatura a lo largo de una típica ruta de circulación desde la recarga en el punto A hasta la descarga en el punto E.  
 Fuente: Dickson M. H. y Fanelli M [en línea] <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=es>

### 2.5.3 ETAPAS DEL DESARROLLO GEOTÉRMICO

La Etapa inicial de un desarrollo geotérmico implica una rigurosa exploración para detectar el recurso a través del muestreo y análisis de estos fluidos. Luego se necesita un buen plan de explotación y equipamiento para extraerlo y producir electricidad, en forma confiable, económica y de manera amigable para el medio ambiente.

#### 2.5.3.1 Etapa de Exploración

##### Objetivos de la exploración

Los objetivos de la exploración geotérmica son:

1. Identificar el fenómeno geotermal
2. Averiguar si existe un campo geotérmico utilizable
3. Estimar el tamaño del recurso

4. Determinar el tipo de campo geotérmico
5. Localizar las zonas productivas
6. Determinar el contenido calórico de los fluidos que serán erogados por los pozos en el campo geotérmico
7. Compilar un conjunto de antecedentes básicos con los cuales pueden ser confrontados los futuros controles.
8. Determinar aquellos parámetros ambientalmente sensibles, en forma previa a la explotación
9. Tomar conocimiento acerca de algunas características que pudiesen ocasionar problemas durante el desarrollo del campo. (Dickson y Fanelli)

Esta es la denominada etapa de estudio, que sirve para definir las características termodinámicas del reservorio. En esta primera parte del proceso, se realiza un estudio regional, un estudio a detalle y la perforación exploratoria. El estudio regional corresponde a una etapa únicamente superficial, con trabajos de precios relativamente baratos, que sólo necesitan contar con los equipos adecuados y que busca definir la zona de estudio a detalle, disminuyéndola desde 500 – 1000 km<sup>2</sup> a 5 – 50 km<sup>2</sup>. El estudio regional puede durar entre 3 y 6 meses, dependiendo de las condiciones geográficas y de los recursos utilizados.

El estudio a detalle incluye la geología, geofísica y geoquímica del área acotada. Entre otras cosas, los geólogos analizan el tipo y edad de los volcanes y de su lava, los derrames, los contactos y la geoquímica de las rocas. Los geofísicos buscan zonas de alta conductividad eléctrica en el subsuelo, lo que podría indicar la presencia de agua caliente con sales disueltas. Entre tanto, los geoquímicos examinan las emanaciones superficiales para determinar mediante geotermómetros la temperatura a la que se habrían originado esos fluidos.

El *estudio a detalle* puede durar entre 6 meses y 1 año (aunque en la práctica podría ser más tiempo), dependiendo de las condiciones geográficas y de los recursos usados.

Con estos estudios, se desarrolla un modelo conceptual donde lo más importante es la concepción tridimensional de la litología y estructuras, como también el

comportamiento geohidrológico del reservorio (temperatura, zonas de “upflow” y de descarga). De este modo, si se llega a determinar que el volumen estimado de agua caliente atrapado en estos acuíferos es suficientemente grande, tiene alta temperatura y buena permeabilidad, entonces se dan las condiciones apropiadas para que exista un reservorio geotérmico, susceptible de ser explotado en forma comercial.

No obstante, los parámetros de presión, permeabilidad, almacenaje, tipo de reservorio, etc., sólo se podrán estimar con mayor de certeza con el primer pozo exploratorio que resulte productor.

Con el fin de confirmar el modelo conceptual que se tiene del yacimiento se perforan pozos exploratorios profundos (entre 1.000 m y 2.500 m), muy similares a los de producción de petróleo. La técnica de perforación es bastante particular, ya que en geotermia se dan altas temperaturas y no se puede utilizar el mismo instrumental que se usa para registros en los pozos petroleros.

### **2.5.3.2 Etapa de Explotación**

La Etapa de explotación abarca el proyecto integral de extracción, manejo y acondicionamiento de fluidos geotérmicos, por lo cual no sólo incluye la perforación del pozo, sino también todas las instalaciones superficiales, equipos requeridos y ramal de vaporductos.

El proceso de extracción de vapor consiste en llevar a la superficie el vapor interno que se encuentra en el subsuelo, mediante la perforación de pozos productores y construcción de su infraestructura que genere el conducto adecuado para su extracción y control.

El proceso de manejo y acondicionamiento de vapor consiste en separar el vapor de la mezcla extraída y transportarlo a través de la red de tuberías a las centrales generadoras. Asimismo llevar el agua separada a través de las obras de conducción y descargarla en las obras de captación para su inyección al subsuelo, luego de separar los sólidos.

La perforación de cada pozo productor toma cerca de 3 meses y se puede perforar con más de un equipo paralelamente. Si la roca tiene mucha sílice, la perforación podría tomar más tiempo.

Mediante una red de vaporductos, el vapor producido en los pozos es recolectado y llevado hasta la central donde se purifica y luego entra a las turbinas de vapor. Después de realizar trabajo en la turbina, el vapor puede ser descargado a la atmósfera o a un condensador (más eficiente) dependiendo del tipo de central. Todo el resto del sistema de generación eléctrica, transformación, control y transmisión, es prácticamente igual al de una central térmica a vapor convencional. (Jara, 2006)

#### 2.5.4 TIPOS DE CENTRALES GEOTÉRMICAS

En la actualidad, el desarrollo de la energía geotérmica ha dado origen a varios tipos de centrales, con el fin de optimizar el aprovechamiento de las diferentes temperaturas y presiones de las reservas subterráneas, géiseres o grietas. En cualquier caso, la idea básica consiste en perforar bajo tierra, y canalizar el agua y el vapor, que se encuentran a elevada temperatura y presión. Al pasar por una turbina conectada a un generador, se produce finalmente energía. (Fernández A., 2006)

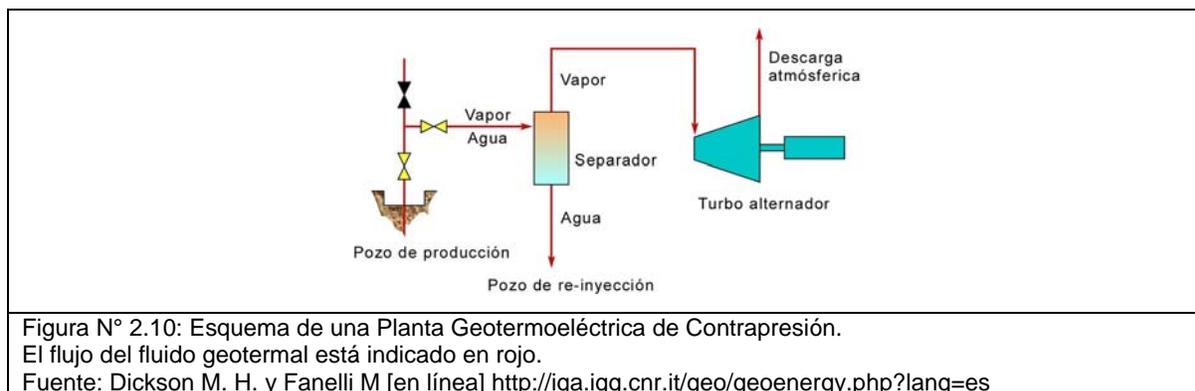
En general, son tres los tipos de centrales geotérmicas, cuya elección de tecnología y tamaño depende básicamente de las condiciones del yacimiento geotérmico y de los recursos disponibles.

Estas clases de centrales se detallan a continuación:

##### 2.5.4.1 Unidades a Contrapresión

Estos equipos son unidades modulares de 1 a 10 MW (normalmente 5 MW), de baja eficiencia y bajo costo del Kw. instalado. Son armadas y probadas en fábrica, montadas sobre un soporte e instaladas sobre la plataforma del pozo. Son totalmente automáticas y de fácil y rápida instalación (aproximadamente 8 meses, incluyendo las pruebas de puesta en servicio). Usualmente, las unidades a

contrapresión son usadas para la evaluación del yacimiento durante su etapa inicial de explotación, en pozos con alto contenido de gas y en pozos aislados en zonas rurales. (Ver Figura N° 2.10)



#### 2.5.4.2 Unidades a Condensación

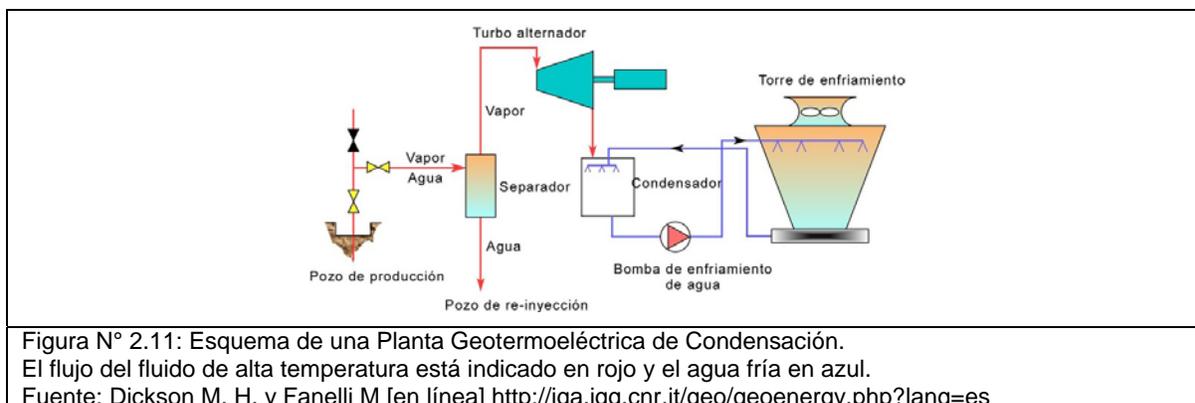
Las instalaciones a condensación son mucho más eficientes que las unidades a contrapresión, debido a la descarga de vapor bajo la presión atmosférica. (Ver Figura N° 2.11)

Estas unidades tienen un tamaño de entre 5 y 110 MW, dependiendo de la topografía de la zona, características de producción de los pozos y sistema eléctrico al que se va a conectar la unidad. Su instalación es más compleja y extensa que la unidad a contrapresión. El plazo de instalación es de 24 meses aproximadamente, incluyendo pruebas de puesta en servicio. Requieren de una superficie mucho mayor que una a contrapresión.

Estas unidades serían iguales a las de una central térmica (vapor) convencional excepto porque el vapor proveniente de los pozos no es puro, contiene gases incondensables, elemento que cambia drásticamente las condiciones de diseño.

Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades (1% a 3% en masa) y compuestos en su mayoría por CO<sub>2</sub> (típicamente 98% CO<sub>2</sub> y 2% H<sub>2</sub>S), esto introduce algunas modificaciones importantes en el diseño. Ejemplo de esto es la instalación de grandes compresores en el condensador para extraer los gases

inconfensables y la utilización de acero inoxidable en el circuito de enfriamiento, debido a lo ácido y corrosivo del condensado.



### 2.5.4.3 Unidades de Ciclo Binario

Estos equipos son unidades modulares de 1 a 3 MW (aunque existen unidades experimentales más pequeñas de hasta 300 Kw.) que funcionan con agua caliente en vez de vapor. Esto puede ser cuando la cantidad de agua separada en un pozo es muy abundante o cuando el pozo no tiene una temperatura muy elevada y el fluido que se extrae de éste es prácticamente agua. Al igual que las unidades a contrapresión, son armadas y probadas en fábrica, montadas sobre un patín e instaladas a boca de pozo. Son totalmente automáticas y operan desatendidas. Son de fácil y rápida instalación (sólo un par de meses). En las unidades de ciclo binario se utiliza el agua geotérmica caliente (alrededor de 130 a 150° C) para transferir calor a un fluido secundario de menor punto de ebullición, por lo general isopentano, el cual al evaporarse opera un ciclo de generación cerrado moviendo una turbina de diseño especial. Después de su paso por la turbina, el fluido secundario se condensa, generalmente por aerofriadores, para volver al intercambiador de calor y cerrar el ciclo. Por su parte, el agua geotérmica, ahora más fría (alrededor de 80°C), se reinyecta al yacimiento. La eficiencia de conversión en estas unidades es bastante baja, aproximadamente 11%, y por lo general son utilizadas para electrificar zonas aisladas o como complemento de

una unidad a contrapresión para mejorar la eficiencia del pozo. (Ver Figura N° 2.12) (Jara, 2006)

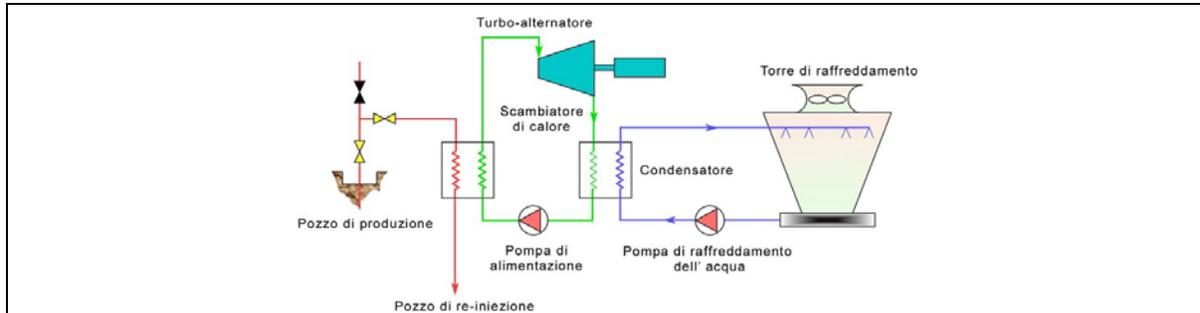


Figura N° 2.12: Esquema de una Planta Geotermal Binaria.

El flujo del fluido geotermal está en rojo, el fluido secundario en verde y el agua fría en azul.

Fuente: Dickson M. H. y Fanelli M [en línea] <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=es>

## 2.5.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Ventajas de la Energía Geotérmica:

- Presenta un flujo constante de producción de energía a lo largo del año, independiente de variaciones estacionales tales como lluvias o caudales de ríos.
- Constituye un excelente complemento para las plantas hidroeléctricas.
- Es una alternativa a la energía que se obtiene por quemado de materia fósil, fisión nuclear u otros medios.
- Con el menor uso de los combustibles fósiles, se disminuyen las emisiones que contaminan la atmósfera.
- El aire que rodea las plantas geotérmicas está libre de humos. Algunas estaciones se ubican en campos de cereales o bosques y comparten tierra con ganado y vida silvestre local.
- Autóctona.
- Renovable.
- Confiable (alto factor de planta: 85-90%).

- Limpia.
- Uso mínimo de terreno.
- Bajos costos operacionales.
- Puede ser desarrollada en forma modular.

#### Desventajas de la Energía Geotérmica:

- Elevado coste de la inversión inicial.
- No se ha conseguido sobrepasar la frontera de los 3.000 metros de profundidad
- Depende del lugar donde estén presentes estos recursos.

Con respecto a las reservas, si bien algunos sitios pueden generar calor durante décadas, también pueden agotarse y enfriarse. De hecho, el gobierno de Islandia no considera a esta energía estrictamente renovable. (Fernández A., 2006)

#### Adecuado Control Ambiental:

En cuanto a la contaminación atmosférica que la generación geotermoeléctrica pueda producir, es importante tener en cuenta que no emite óxidos de nitrógeno (NOx), ni óxidos de azufre (SOx), como en las plantas de combustión.

Las emisiones geotérmicas sólo contienen gases de CO<sub>2</sub>, aunque muy inferiores en comparación con las de una central térmica que utilice como combustible gas natural, petróleo o carbón.

Por otra parte, las pequeñas cantidades de gas sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) que emite una central geotérmica se controlan con eficacia mediante una adecuada dispersión local y realizando mediciones continuas para mantenerse dentro de los límites permisibles. Conviene señalar que no se genera lluvia ácida, ya que ésta proviene del SO<sub>2</sub> y el agua.

Con respecto a la contaminación acústica, para disminuirla se utilizan silenciadores que aplacan el ruido hasta niveles aceptables, además de cumplir una doble función al eliminar el salpicado de salmuera.

En cuanto al agua separada (salmuera), si se realiza la reinyección de ésta al propio yacimiento en forma adecuada, se eliminan los riesgos de contaminación del suelo, acuíferos superficiales y cursos de agua.

De acuerdo a lo expuesto, una central geotermoeléctrica bien manejada no contamina ni es peligrosa para su entorno. Sin embargo, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La utilización del suelo, ya que se requieren grandes extensiones y de una considerable infraestructura.
- El manejo del suelo, relacionado con su estabilidad y la influencia sobre las formaciones geológicas profundas. Entre los impactos negativos podrían estar la erosión, el hundimiento del terreno y la inducción de actividad sísmica.
- El ruido, en especial en la etapa de perforación de los pozos.
- Posible contaminación del aire, debido a flujos de gases contaminantes y no controlados en las distintas etapas del proceso de explotación.
- Posible contaminación de las aguas, debido a los procesos térmicos durante la explotación de la planta.
- Alteración de ecosistemas, debido a un mal manejo del recurso. (Jara, 2006)

Por otra parte, estas centrales pueden ocasionar daños en el medio ambiente. Si se libera el agua caliente, puede contaminar térmicamente los ecosistemas, al incrementar su temperatura natural, aunque la reinyección del agua empleada minimiza los posibles riesgos. Además, el agua extraída asciende con sales y otros elementos disueltos que contaminan la atmósfera si no se purifican. (Fernández A., 2006)

## **CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO**

### **3.1 SEGURIDAD DEL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN LA UNIÓN EUROPEA**

La dependencia energética externa de la Unión Europea (UE) ha aumentado de manera constante, lo que puede implicar riesgos de tipo económico, social, ecológico y físico. Un 50% de la energía es importada, y al ritmo actual ese porcentaje podría llegar al 70% en 20 o 30 años más. Las importaciones energéticas representan el 6% de las importaciones totales y, desde el punto de vista geopolítico, el 45% de las importaciones de petróleo son de Oriente Medio y el 40% de las importaciones de gas natural, de Rusia.

A pesar del protagonismo que ha ido cobrando el accionar de la UE, aún no posee las herramientas necesarias para influir en el mercado internacional, y esta vulnerabilidad se hizo evidente durante la alza de los precios del petróleo de fines del 2000. (Jara, 2006)

#### **3.1.1 COMISIÓN EUROPEA: LIBRO VERDE DE SEGURIDAD ENERGÉTICA**

Ante este escenario y con el objetivo de determinar una visión global acerca de los riesgos relacionados con el futuro aumento de la dependencia energética europea, en el año 2000, la Comisión Europea elaboró el libro verde acerca de la seguridad en el suministro energético.

En el documento denominado «Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético» (2000) se establece que la UE debería tratar de solucionar este problema mediante un plan estratégico destinado a reducir los riesgos de esa dependencia externa.

Se señala también que a la hora de diseñar una estrategia se deben considerar nuevos desafíos tales como las preocupaciones ecológicas (que influyen en la elección de las fuentes de energía, por ejemplo la lucha contra el cambio climático) y la realización del mercado interior (que otorga un nuevo rol a la demanda y que puede provocar tensiones en la política, por ejemplo la reducción en los precios puede oponerse a la lucha contra el cambio climático).

### **3.1.1.1 Estrategia a largo plazo**

El Libro Verde considera que “el objetivo principal de una estrategia energética debe ser garantizar, para el bienestar de los ciudadanos y el buen funcionamiento de la economía, la disponibilidad física y constante de los productos energéticos en el mercado a un precio asequible para todos los consumidores, teniendo en cuenta las preocupaciones ecológicas y con la perspectiva de lograr un desarrollo sostenible”. De acuerdo a lo expuesto, la clave no es aumentar al máximo la autonomía energética ni minimizar la dependencia; sino reducir los riesgos que esa dependencia conlleva.

Las conclusiones de este documento señalan que la UE requiere establecer un concepto global de seguridad del abastecimiento que incluya previsión a largo plazo, mecanismos de seguimiento del mercado, instrumentos políticos eficaces, y el refuerzo de las relaciones con terceros países.

(Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético, 2000)

### **3.1.2 CUMBRE MUNDIAL SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE:**

#### **Herramientas de promoción:**

Con el fin de fomentar a nivel mundial el desarrollo de las energías renovables, en septiembre del 2002 se desarrolló la Cumbre Mundial sobre el desarrollo Sostenible de Johannesburgo, donde se acordó:

- Implementar el uso en la región, de al menos un 10% de energía renovable del porcentaje total energético de la región para el año 2010.

- Instalar Centros de Producción Más Limpia en todos los países de la región.
- Incorporar el concepto de Producción Más Limpia en una fracción significativa de las principales industrias, con énfasis en la primera y mediana industria.
- Establecer un sistema de incentivos económicos para proyectos de transformación productiva e industrial que conserve los recursos naturales y energía, y produzcan la reducción final de efluentes vertidos al agua, suelo y aire. (Análisis de los resultados de la Cumbre de Johannesburgo: Aportes de la Ciudadanía. 2003)

A partir de los compromisos adquiridos en esta cumbre, en junio del 2004 se realizó la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables en Bonn, Alemania, cuyo objetivo principal fue identificar la mejor estrategia para la promoción y uso de las fuentes de energía renovables, impulsando con determinación la propuesta de la “Coalición de Johannesburgo para Energías Renovables”. *Johannesburg Renewable Energy Coalition* (JREC). (Fuentes Renovables de energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006)

### **3.2 DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y ERNC EN PAÍSES DESARROLLADOS**

La industria de las energías renovables se está movilizándose tanto por la creciente preocupación por el calentamiento global, como por el aumento sistemático de la demanda de energía y, principalmente, por la creciente ansiedad por la seguridad del suministro energético.

La inversión mundial en energías renovables pasó de 80 mil millones de dólares en el 2005 a 100 mil millones en el 2006.

En tanto que la producción de energías renovables representa un 2% de la actual producción total de energía, la inversión en renovables es un 18% del total este año. La mayor inversión de capitales en energías renovables se realiza en la

producción de energía eólica, seguida de la energía solar y los biocombustibles; siendo estas dos últimas las que crecen más rápidamente.

La industria de las energías renovables ya no depende de las variaciones del precio del petróleo, y hoy es un sector de producción de energía en el que invierten las grandes compañías energéticas. (Flores, 2007)

Con respecto a las ERNC y sus opciones de utilización, una gran gama de las energías renovables está disponible comercialmente y otras en etapas de investigación y desarrollo. No obstante estas opciones chocan con dos obstáculos principales: barreras económicas, surgidas de la competitividad de costos de inversión en relación con las alternativas tradicionales, y barreras regulatorias, por carencia de incentivos para la inversión o mejoramientos operativos. (Jara, 2006)

### 3.2.1 INCENTIVO A LAS ERNC EN EEUU

El primer país que desarrolló políticas de promoción para la energía renovable fue EEUU, que en 1978 decretó una ley nacional de tarifas de entrada, donde el estado fija un precio mínimo de ingreso al mercado, que hasta la fecha otorga incentivos tarifarios a las ERNC. A comienzos de los '90, las políticas de entrada fueron adoptadas en Dinamarca, Alemania, Grecia, India, Italia, España y Suiza.

En Estados Unidos el fomento a la generación de electricidad mediante energías renovables es canalizado a través de más de 200 programas de incentivo específicos y que varían de un estado a otro. Entre las herramientas vigentes están las basadas en créditos de impuestos (disminución) para la generación de energía solar y geotermal, crédito al combustible (alcohol) y subvenciones tarifarias (centavos de dólar por Kwh. generado), entre otras. (Jara, 2006)

### 3.2.2 INCENTIVO A LAS ERNC EN LA UE

A través de la Comisión Europea y su Libro Verde "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético" (2000), Europa ha progresado firmemente en la promoción de las energías renovables.

En este sentido, la Unión Europea ha aportado de manera práctica entregando soluciones tanto técnicas como institucionales. Europa es la pionera en el desarrollo y aplicación de técnicas modernas vinculadas a las energías renovables. Entre 1990 y 2000, Europa Occidental -que exhibía un 16% del consumo mundial de energía- representó el 31% del aumento mundial de la electricidad generada a partir de biomasa; 48% del aumento de la energía producida por pequeñas centrales hidráulicas, y 79% del aumento de la electricidad originada a partir de energía eólica.

La UE ha liderado el establecimiento de medidas políticas y normativas, tales como los objetivos y los sistemas financieros requeridos para impulsar el avance de las energías renovables. En tanto, las empresas europeas se encuentran a la vanguardia de la tecnología mundial en energías renovables.

Desde 1977, la Unión Europea (UE) está trabajando para lograr el objetivo general de tener en 2010, un 12% de su consumo interno bruto de energía (UE-15= países miembros de la UE hasta antes del 1 de mayo el 2005), sobre la base de energías renovables, frente al 5,2% en 1995.

El principal obstáculo para lograr este objetivo es el desequilibrio entre los diferentes niveles de compromiso y de desarrollo de las energías renovables en los distintos países miembros. (Jara, 2006)

En cuanto al fomento de la generación de electricidad en base a fuentes de energía renovables, en el año 2001 la directiva del parlamento europeo dio origen a un documento donde se establecían objetivos de porcentajes de generación. Este tema ha sido una de las prioridades de la Unión Europea por motivos de seguridad y diversificación del suministro de energía, de protección del medio ambiente y de cohesión económica y social. (Energías renovables: promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables, 2001)

De esta forma, la Unión Europea definió dentro de un marco legislativo, el objetivo de incrementar hasta en 22% la cuota de electricidad generada a partir de energías renovables en la UE-15 para 2010. (Frente al 14% en 2000)

Por otra parte, ésta iniciativa corresponde a una parte importante de las medidas necesarias para cumplir los compromisos adquiridos por la Unión Europea en el Protocolo de Kyoto de 1997 sobre reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los diez nuevos estados miembros de la UE (UE-10= nuevos países integrados a la UE desde el 01 de mayo del 2004) deben ajustarse a las disposiciones, transformando el objetivo original de 22% en un objetivo colectivo del 21% para la Europa de los Veinticinco (UE-25: UE-15 + UE-10).

Para lograr los objetivos, todos los Estados miembros de la UE-25 se han fijado objetivos nacionales respecto a la cuota de producción de electricidad a partir de fuentes de energías renovables.

En el camino hacia las energías renovables, tres grupos de países se encuentran en etapas relativamente avanzadas:

Dinamarca, Alemania, España y Finlandia han adoptado políticas energéticas que les permitirían alcanzar los objetivos nacionales fijados.

Dinamarca ha aumentado la cuota de electricidad obtenida a partir de fuentes de energía renovables desde el 8,9% en 1997 al 20% en 2002. (Objetivo propuesto para el 2010: 29%) Por su parte, Alemania ha incrementado la cuota desde el 4,5% en 1997 al 8% en 2002 (Objetivo nacional del 12,5%), y las recientes estadísticas señalan que éste país ya ha logrado llegar al 10.2% del consumo eléctrico en el país y con una capacidad instalada de 18.428 MW. (Chile: en la encrucijada energética, 2006)

En cuanto a desarrollo de energía eólica, España es el segundo país en importancia. Con respecto a Finlandia, la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables, pasó de 7 TWh en 1997 a 10 TWh en 2002, sin contar la hidráulica, en tanto el progreso de la biomasa ha sido sorprendente en los últimos años.

Austria, Bélgica, Francia, Irlanda, Países Bajos, Reino Unido y Suecia han comenzado a adoptar políticas y medidas que les permitirían alcanzar los objetivos fijados.

En tanto Grecia y Portugal deberán reforzar sus políticas y superar los obstáculos administrativos que entorpecen la explotación del gran potencial que existe tanto de energía eólica como de biomasa o solar.

Aunque es difícil prever si las políticas desarrolladas y las medidas adoptadas en los países de la UE permitirán alcanzar estos objetivos para 2010, si la tendencia actual continúa, entre el 18% y el 19% del consumo de electricidad se generará a partir de energías renovables. (Jara, 2006)

### **3.2.2.1 Sistemas de Incentivos**

El financiamiento público y el respaldo de los riesgos por parte del estado, han favorecido el desarrollo de energías renovables. Para incentivar este desarrollo existen diferentes medios a disposición de los estados miembros, como las tarifas de introducción de energía renovable a la red eléctrica, los certificados verdes, los mecanismos basados en el mercado, las exenciones de impuestos, etc.

Todos los sistemas de apoyo a la generación de electricidad de origen renovable poseen un mismo fundamento: la necesidad de determinar un mecanismo económico que permita hacerlas competitivas ante las fuentes energéticas convencionales.

### **3.2.2.2 Tipos de Incentivos**

Los sistemas REFIT (*Renewable Energy Feed-in Tariffs*) se caracterizan por fijar legalmente los precios o incentivos, cuyas cantidades se adaptan a cada una de las diversas tecnologías renovables (eólica, mini hidráulica, biomasa, etc.). En la mayoría de los países donde se aplica este sistema, el cobro del precio queda además garantizado durante un período entre los 10 y los 20 años a partir de la puesta en funcionamiento de la instalación.

En el sistema REFIT, la cantidad de electricidad generada a partir de fuentes renovables depende en principio de la mayor o menor cuantía de la tarifa fijada. La aplicación de este sistema regulatorio representa un importante incentivo a la generación de energía renovable siempre y cuando la tarifa sea lo suficientemente

alta como para asegurar rentabilidades atractivas. Si, por el contrario, la tarifa se sitúa demasiado baja, el sistema será incapaz de incentivar la expansión de la tecnología renovable en cuestión.

Cuando se ha cumplido la condición anterior, los sistemas de Feed-in Tariffs han demostrado ser los más efectivos para promover la expansión de las fuentes renovables de electricidad.

Otro sistema de incentivo es el sistema de cuota y certificados verdes, donde el Estado impone a las compañías distribuidoras de electricidad la obligación de que un determinado porcentaje (que generalmente aumenta con el tiempo) de su suministro tenga como origen a fuentes de energías renovables.

Al término de cada período, generalmente un año, las compañías distribuidoras deben demostrar su cumplimiento de la cuota a través de la entrega virtual a la correspondiente Autoridad Regulatoria Nacional de una cantidad de certificados verdes equivalentes a la cuota de MWh renovables para suministrar. Un certificado verde suele equivaler a 1 MWh renovable.

Los certificados son otorgados inicialmente por la Autoridad Regulatoria Nacional a los generadores de electricidad con fuentes renovables siguiendo generalmente la proporción 1 certificado por cada MWh generado.

Así, los generadores disponen de dos *commodities* diferentes que venden en el mercado: por un lado, la electricidad y, por otro lado, el certificado verde como atributo de los beneficios ambientales asociados a cada unidad de electricidad producida a partir de fuentes renovables. Los distribuidores de electricidad pueden conseguir estos certificados verdes comprándolos a los generadores (separadamente o empaquetados junto con la electricidad renovable), o en el mercado de certificados que se pone paralelamente en funcionamiento. (Introducción a los sistemas de retribución de las energías renovables en la Unión Europea. La visión de los productores, 2003)

### 3.2.2.3 Financiamiento

El aumento que está experimentando el financiamiento de proyectos de ERNC es impresionante. En el 2004 se invirtieron en total más de 30.000 millones de dólares en ERNC, lo que corresponde a un 20 a 25% de las inversiones globales en el sector energético. Respecto a la generación eólica, las inversiones en equipos se incrementaron en un 25% durante el 2005 respecto al año anterior llegando a 14.000 millones de dólares. Esto es altamente relevante, ya que uno de los principales problemas ha sido el alto costo inicial de la inversión, haciendo de la depreciación del capital y las tasas de interés, un punto clave en las decisiones de financiamiento de nuevos proyectos de energías alternativas. (Jara, 2006)

Tanto el sector público como el privado han sostenido el aumento en los flujos financieros hacia las energías renovables. Bancos comerciales han incluido en sus carteras de inversiones el financiamiento de estas tecnologías. Además, Sociedades de inversión están ingresando también en este mercado; y organismos financieros multilaterales, regionales o aún nacionales, tienen como parte de sus políticas financieras entregar garantías, y promover o co-financiar proyectos de energía renovable en los países en desarrollo. Por otra parte, el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto, está generando nuevas e interesantes posibilidades de financiamiento para países en desarrollo. (Chile: en la encrucijada energética, 2006)

La Unión Europea se caracteriza por la vanguardia tecnológica e institucional que exhibe en relación a las ERNC, sin embargo, la UE incluso ampliada a 25 miembros, sólo representará un 7% del crecimiento del consumo de energía mundial de aquí al 2020. Se adelanta que más de un tercio de este crecimiento corresponderá a China y a la India. Por esta razón, las decisiones que tomen estos países y otros en vías de industrialización, influirán cada vez más en el nivel y estructura de consumo mundial de energía.

Ante esta realidad, es especialmente relevante que se cumpla lo acordado en la cumbre de *Bonn* en el 2004, donde los países desarrollados se comprometieron a asistir a países en desarrollo para el uso de energía renovable, incluida

financiación, tecnología, apoyo de expertos y gestión. (La cooperación en materia de energía con los países en vías de desarrollo, 2003)

### 3.2.3 ERNC EN OTROS PAÍSES

#### 3.2.3.1 China

China tiene 37.000 MW de potencia instalada en base a ERNC, que corresponde a un 8,4% de su capacidad instalada total.

En cuanto a los objetivos planteados por China en relación con las ERNC, son lograr un 10% de la capacidad eléctrica. (60.000 MW)

#### 3.2.3.2 India

Dentro de los países en vías de desarrollo, la India fue el primero en establecer las tarifas de entrada, luego vinieron Sri Lanka, Tailandia e Indonesia.

En el año 2002, en la India se decretó un Plan de Energías Renovables que estará vigente hasta el 2012 y cuyo objetivo es promover las ERNC (principalmente la solar), para alcanzar un 10% de su capacidad eléctrica en base a estas fuentes energéticas en el 2012, lo que equivale a 10.000 MW.

En cuanto a las fuentes de financiamiento para el desarrollo de las ERNC en la India, existe un aumento sostenido de ellas, las que buscan diversas maneras de disminuir los riesgos para los inversionistas privados.

#### 3.2.3.3 Australia

El desarrollo de ERNC en Australia se concentra en su potencial eólico. La capacidad instalada casi se duplicó en el 2004, pasando de 198 MW en 2003, a 746 MW a finales de 2005.

Según la Asociación Australiana de Energía Eólica, Australia posee el potencial eólico más abundante del mundo y una capacidad de la red que podría llegar hasta los 8.000 MW de energía eólica. (Jara, 2006)

### 3.3 DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO

#### 3.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA, ZONAS GEOLÓGICAS Y PAÍSES PRODUCTORES

Las áreas geológicas de gran actividad tectónica son las zonas donde la placa oceánica de la tierra y la de la corteza chocan y se monta una sobre la otra (zona de subducción). Estas áreas bordean el Océano Pacífico y corresponden a la cordillera de Los Andes (América del Sur), los volcanes de América Central y México, la Cordillera *Cascade* de USA y Canadá, la cordillera *Aleutian* de Alaska, la Península de *Kamchatka* en Rusia, Japón, las Filipinas, Indonesia y Nueva Zelanda.

Donde las placas tectónicas se están fragmentando es otra zona energética activa (Islandia, los valles de África, la zona del Atlántico medio y las Provincia de Cordilleras y bases de USA); y los sectores llamados "puntos calientes", que son lugares fijos en la Tierra que producen magma frecuentemente y dan origen a manantiales y volcanes, como la cadena de las Islas Hawaii.

En cuanto a los países productores, los que están generando más electricidad en base a recursos geotérmicos son Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda, Italia, México, las Filipinas, Indonesia y Japón. Sin embargo, existen países con alta actividad tectónica que debieran producir y utilizar la energía geotérmica. (Energía geotérmica: Calor generado por la Tierra, 2004)

#### 3.3.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO

Cada vez suscita mayor interés y preocupación a nivel mundial y especialmente en los países desarrollados, buscar opciones de producción de energías renovables que causen el mínimo de contaminación y que en no aporten más gases, como CO<sub>2</sub> y otros, para disminuir el efecto invernadero. Por otra parte, en algunos países pobres en hidrocarburos y carbón de alta capacidad calórica en

Europa Central (Italia), Asia (Indonesia, Filipinas, Japón) y Centroamérica (Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Guatemala); la Geotermia ha jugado un rol muy importante en disminuir esta dependencia. (Soffia J.M., Ramírez C., 2004)

### 3.3.2.1 Antecedentes

Los primeros pozos exploratorios se hicieron en 1920 en: Beppu (Japón) donde en 1924 se instaló una planta experimental de 1 Kw.; en The Geysers y Niland (California) proyecto que fue abandonado por falta de mercado para la electricidad; y en El Tatio (Chile) donde se perforaron 2 pozos hasta unos 60 m. de profundidad, proyecto que más tarde fue abandonado por falta de recursos económicos.

En *Reykjavik y Reykim*, Islandia, en los años 30, se realizaron perforaciones donde el agua caliente captada se empezó a utilizar para calefacción ambiental. Con este mismo fin se hicieron los primeros sondajes en 1940, en Rotorúa (Nueva Zelanda). (Lahsen, 2000)

En la década de los `60 se inició en distintas partes del mundo una gran actividad de investigación y exploración de los recursos geotérmicos, con el fin de utilizarlos para calefacción o para generación eléctrica.

En 1967 en la antigua Unión Soviética comenzó a funcionar la primera planta geotérmica de ciclo binario para generar 680 Kw. de energía eléctrica. En esta planta la temperatura del fluido geotérmico apenas alcanzaba los 80° C. (Dickson y Fanelli)

Hacia 1995 la capacidad instalada de plantas geotermoeléctricas alcanzaba a 6.790 Mwe proyectándose para el año 2000 una capacidad de 9.960 Mwe. En cuanto a usos directos de la energía geotérmica, ya sea para calefacción, procesos industriales o agropecuarios, alcanzaba en 1995 según Freeston, una magnitud equivalente a 8.300 Mwt. (Lahsen, 2000)

Hasta 1999, en el mundo había alrededor de 20 países que contaban con generación de energía geotermoeléctrica, con un parque estimado en 8.240 MW (1998) y que se esperaba llegara a los 10.000 MW a fines del 2000 (Internacional

Geotermal Asociación). Los países que lideraban en este tipo de generación de energía eran USA (2.850 MW), Filipinas (1.848 MW), Italia (769 MW), México (743 W) y Japón (530 MW). (Pérez, 1999)

La potencia geotérmica instalada en el mundo creció de manera continuada entre los años 1995 y 2000, pasando de casi 6.840 a más de 8350 megavatios, que equivale a un aumento de un 22,3% en ese periodo. (Energía geotérmica: Calor generado por la Tierra, 2004)

### **3.3.2.2 Situación Actual**

En resumen, a nivel mundial la energía geotérmica aporta el doble de la contribución que hacen las energías renovables tradicionales combinadas como la biomasa, eólica, solar, térmica y fotovoltaico; y sigue estando disponible cuando no alumbra el sol y cuando no sopla el viento.

La potencia instalada mundial de energía geotérmica se estima actualmente en casi 9.000 MW instalados y varios proyectos en ejecución. Se dispone de 80 reservorios geotermales identificados que se explotan a través de 250 plantas geotermoeléctricas sirviendo a 60 millones de habitantes. (Soffia J.M., Ramírez C., 2004)

Los países con mayor utilización de la energía geotérmica son: Estados Unidos, Filipinas, México, Indonesia, Italia, Japón, Nueva Zelanda. (Ver Tabla N° 3.1)

EEUU cuenta con más de una cuarta parte de la potencia de centrales, con una potencia de unos 3.000 MW, electricidad comparable a la producida quemando más de 60 millones de barriles de petróleo al año.

Filipinas genera el 27% de su electricidad con esta energía, Islandia produce el 17% de sus necesidades de consumo, y Nueva Zelanda es uno de los países que más se destaca por el avance tecnológico en cuanto a esta energía, debido a su particular topografía volcánica.

Por otra parte, Canadá además de las 30.000 instalaciones de energía geotermal para calefacción domiciliar que posee, recientemente ha construido una planta experimental.

En cuanto al rol que esta energía podría desempeñar, los expertos aseguran que podría ser muy importante para los países en vías de desarrollo, por ejemplo, se prevé que en el este de África se podrían generar hasta 6,5 Giga vatios (GW) de electricidad. Sin embargo, por el momento solo Kenya dispone de una central de esta clase.

En este sentido, el Banco Mundial anunció a fines del 2006 su intención de impulsar este tipo de energías por medio de subvenciones o con la financiación de emisiones de carbono. En cualquier caso, el desarrollo de la tecnología resulta también fundamental para incrementar su uso.

Actualmente, las principales líneas de investigación son la bomba de calor y la roca seca, y el 2006 se informaba de un nuevo sistema para aprovechar un estado especial de los fluidos (estado supercrítico), al estar sometidos a presión y temperatura muy altas. (Fernández, 2006)

Tabla N° 3.1: Capacidad instalada (MW) de aprovechamiento geotérmico a nivel mundial (2005)

| <b>PAÍS</b>         | <b>POTENCIA INSTALADA (MW)</b> |
|---------------------|--------------------------------|
| Estados Unidos      | 2.850                          |
| Filipinas           | 1.931                          |
| México              | 953                            |
| Indonesia           | 797                            |
| Italia              | 790                            |
| Japón               | 535                            |
| Nueva Zelanda       | 435                            |
| Islandia            | 202                            |
| Costa Rica          | 163                            |
| El Salvador         | 151                            |
| Kenya               | 127                            |
| Rusia               | 79                             |
| Nicaragua           | 77                             |
| Guatemala           | 33                             |
| China (Tibet)       | 28                             |
| Turquía             | 20                             |
| Portugal (Azores)   | 16                             |
| Francia (Guadalupe) | 15                             |
| Papua Nueva Guinea  | 6                              |
| Tailandia           | 0,3                            |
| Austria             | 0,2                            |
| Alemania            | 0,2                            |
| Australia           | 0,2                            |
| <b>Total</b>        | <b>9.209</b>                   |

Fuente: Jara, 2006.

### **3.4 SEGURIDAD DEL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO Y DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA LATINA**

“El desarrollo y uso sostenible de la energía debe promover el desarrollo económico, pero sin descuidar la protección del medio ambiente”. Bajo estas premisas fundamentales para el sector energético, la sustentabilidad del desarrollo necesita que se adopte una estrategia que asegure un abastecimiento de calidad, oportuno, permanente, a precios razonables, y que generen mínimos impactos

ambientales. (Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe. 2000)

#### **3.4.1.1 Cumbre de los gobiernos de América Latina y el Caribe en Brasilia: Desarrollo Energías Renovables**

La preocupación a nivel regional por la calidad y cantidad del suministro de energía, y la necesidad de generar nuevas fuentes que conformen las matrices energéticas de los países de América Latina y el Caribe; ha propiciado iniciativas para tratar estos temas y los vinculados al impacto ambiental de la utilización de los recursos energéticos. En este contexto se enmarca la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible organizada por el gobierno de Brasil en Brasilia en octubre del 2003, que reunió a representantes de los Ministerios de Medio Ambiente y de Energía de América Latina y el Caribe.

El objetivo del encuentro fue crear una instancia de convergencia de iniciativas y de focalización de la discusión sobre los problemas, así como las oportunidades específicas para los países de la región con el fin de determinar una posición regional común como preparación de la Conferencia Mundial sobre Energías Renovables de Bonn. (Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006)

#### **3.4.1.2 Compromisos Principales de la Plataforma de Brasilia Sobre Energías Renovables**

En la Cumbre de los gobiernos de América Latina y el Caribe celebrada en Brasilia se adquirieron los siguientes compromisos sobre energías renovables aprobados por los representantes gubernamentales de 21 países de la región:

- Impulsar el cumplimiento de la meta para lograr al año 2010, al menos un 10% de energías renovables en el consumo total energético de la región.
- Fortalecer la cooperación entre los países de la región y los países desarrollados, para promover el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y la equidad social.

- Fomentar políticas públicas para el desarrollo de las fuentes renovables, teniendo en cuenta los marcos regulatorios de cada país e impulsando las inversiones del sector privado.
- Promover la cooperación con el sector productivo.
- Promover políticas que estimulen a los sectores productivos para adoptar escalas y tecnologías que hagan competitiva la demanda de energías renovables.
- Fomentar la adopción de marcos regulatorios e institucionales que incorporen instrumentos para el desarrollo de energías renovables.
- Intercambiar experiencias sobre la adopción e implementación de políticas para fomentar el empleo de energías renovables.
- Facilitar procesos de capacitación.
- Llevar a cabo, con apoyo de la CEPAL y otras agencias, procesos de intercambio de experiencias sobre marcos regulatorios.
- Apoyar la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables, para la creación de un fondo de cooperación técnica y financiera.
- Instar a las instituciones financieras a financiar proyectos nacionales, subregionales y regionales de energías renovables.
- Estimular proyectos de energías renovables, la creación de certificados verdes, créditos y programas de incentivos fiscales.
- Formular políticas públicas que estimulen el desarrollo de mercados de energías renovables.
- Considerar las necesidades sociales de la población en el desarrollo de mercados de energía renovable.
- Estimular la realización de estudios comparativos entre alternativas energéticas.
- Solicitar al Secretario Ejecutivo de la CEPAL, elaborar un documento sobre la situación de las energías renovables en América Latina y el Caribe, para su presentación en la Conferencia Mundial sobre Energías Renovables. (Documento CEPAL, Serie LcL 2132, 2004, citado en Fuentes renovables de

energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006)

Aún cuando lo acordado en esta Cumbre no implicó un compromiso político-institucional, lo señalado allí ha constituido un importante avance para la región, pues representa el primer intento concreto de coordinación y homogeneización de las diferentes visiones e intereses de los países en cuanto a energías renovables sostenibles.

Así, este encuentro fue una gran ocasión para centralizar y consolidar los temas vinculados con las fuentes de energía renovables. Además, constituyó una oportunidad para dirigir hacia esos temas, iniciativas de propuestas regionales conjuntas con el fin de afianzar un posicionamiento estratégico de América latina frente a los diferentes escenarios futuros del desarrollo de las fuentes renovables.

Para favorecer el logro de los compromisos, la CEPAL se designó como la institución regional de las Naciones Unidas encargada del seguimiento e implementación de los acuerdos, de modo de dar continuidad a la Conferencia Mundial sobre Energías Renovables celebrada en Bonn, Alemania.

De esta forma, con ocasión de la Cumbre de Bonn, la CEPAL preparó y presentó oficialmente el documento "Fuentes Renovables de Energía en América Latina y el Caribe: Situación y propuestas de Políticas". En este documento se señaló que a fines de 2002 América Latina y el Caribe cumplió con las metas impulsadas en Brasilia, dado que las fuentes renovables de energía aportaban más del 25,7% de la oferta total de energía. Entre éstas se destacó la hidroenergía con aproximadamente 15%, leña con 5,8% y productos de caña con 4,1%. El resto de las fuentes renovables como: biomásas (0,5%) y geotermia (0,7%) fueron marginales; por otra parte, las fuentes de energía eólica y solar, a pesar de ser utilizadas, no se contabilizan aún para formar parte de la oferta de energía.

Según lo evidenciado por el documento, la meta lograda por la región de manera global debe analizarse minuciosamente, ya que se surgieron visibles diferencias entre subregiones y países de la misma subregión en cuestiones como: la

dotación de recursos naturales, las estructuras de abastecimiento y consumo de energía, y la institucionalidad vigente para impulsar políticas de promoción y penetración de las fuentes renovables de energía. (Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006)

### **3.4.1.3 Análisis comparado 2002 – 2004 de la oferta total de energía en América Latina y El Caribe:**

En este análisis se actualizaron 26 países de América latina y el Caribe para el año 2004, con el fin de compararlos con los datos del 2002.

Entre los años 2002 y 2004 la composición de la oferta total de energía de América Latina y el Caribe no presenta cambios significativos entre los recursos naturales fósiles y renovables. Estos últimos representan aproximadamente el 25% de la oferta total energética regional. (Ver Figura N° 3.1)

La participación de las fuentes renovables muestra una tendencia levemente negativa, reduciéndose del 25,7% en 2002 al 24,8% en el 2004, lo que significa un retroceso relativo del 3,5% respecto al 2002. Esta situación revela que los avances en relación con las energías renovables en temas regulatorios y de proyectos, no se reflejan aún en la matriz energética. (Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006)

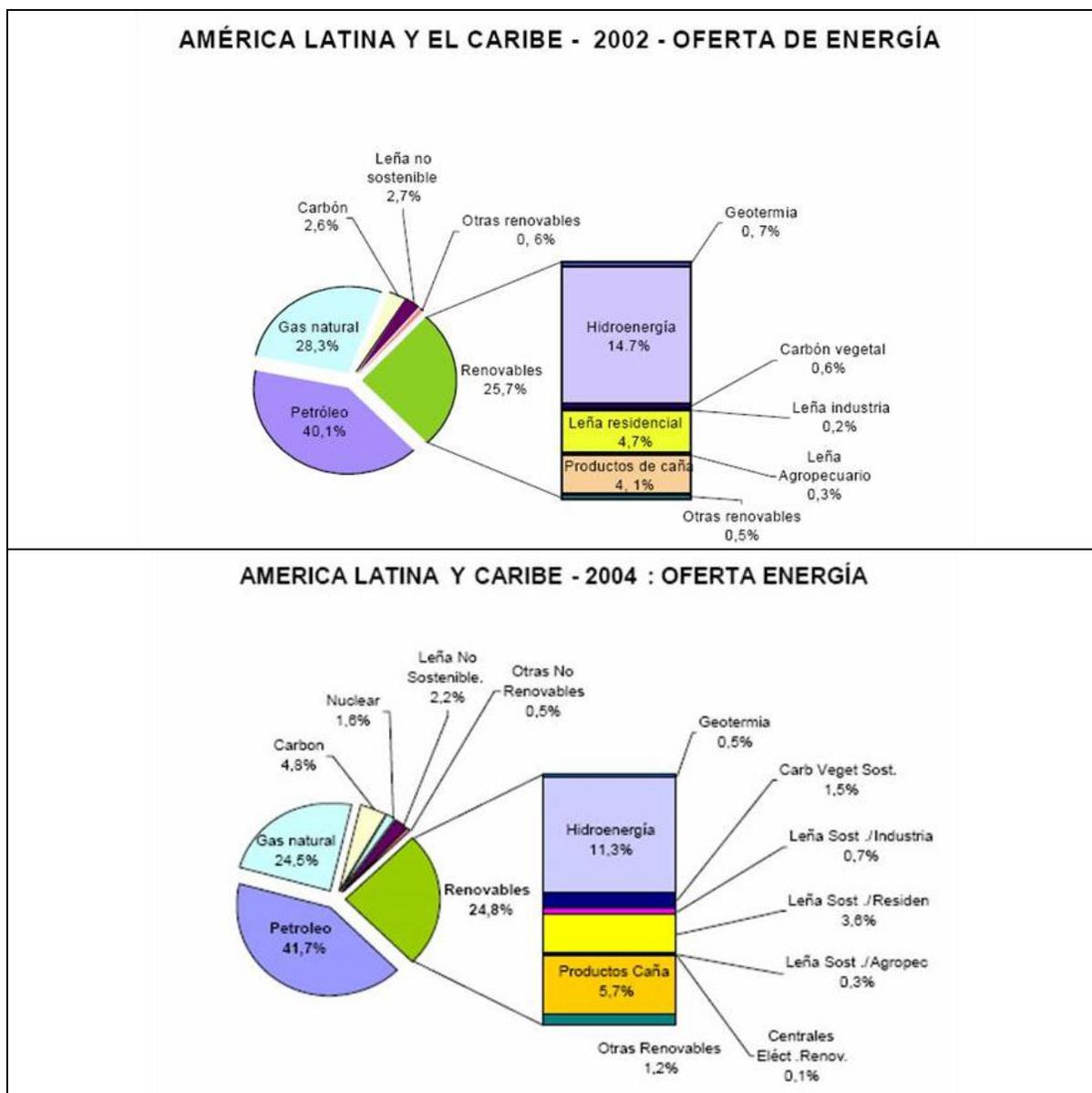


Figura N° 3.1: Oferta Energética - América Latina y el Caribe (2002).

Fuente: Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006.

### 3.5 DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

La energía geotérmica constituye una significativa opción energética para el desarrollo sustentable, pues ha demostrado su factibilidad técnica y económica para la producción de energía eléctrica a mediana y gran escala. Por otra parte,

admite una gran variedad de usos directos del calor en proyectos con alta rentabilidad social tales como; invernaderos, secado de granos y productos forestales, cultivo de peces, recreación, etc.

El potencial geotérmico de la costa del pacífico, en América Latina y el Caribe, es ideal para el desarrollo de explotaciones geotérmicas de elevada entalpía. A pesar de estas inmejorables condiciones, en 1993 el aporte de la geotermia al total de la energía primaria producida en la región era de sólo 0.2 % y no superaría el 1%, a pesar del ingreso de nuevos proyectos en 1994 en Costa Rica, El Salvador y México. Los países antes mencionados, junto a Guatemala y Nicaragua, han estado realizando esfuerzos permanentes para explotar los recursos geotérmicos. Se prevé que para fines de siglo, la capacidad instalada se cuadruplicaría en estos cinco países.

La constante preocupación de los gobiernos de los países centroamericanos sobre el tema geotérmico y el renovado y actual interés de algunos países de América del sur (Chile, Argentina, Perú) sobre el tema; originan un escenario de importancia y perspectivas. (Jara, 2006)

### 3.5.1 CEPAL Y COMISIÓN EUROPEA: PROGRAMA GEOTÉRMICO “PROYECTO CEPAL/CE”

Basada en lo anterior, en 1996, las Naciones Unidas, por medio de su Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, y la Comisión Europea, por medio de la Dirección General de la Energía; se comprometieron a desarrollar un programa regional conjunto acerca de la explotación geotérmica.

La iniciativa denominada “Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe” y llamada más tarde Programa Geotérmico CEPAL/Comisión Europea (Proyecto Cepal/CE), constó de dos fases:

La fase 1: buscaba propiciar el desarrollo sustentable de los recursos geotérmicos en América Latina y el Caribe, principalmente a partir de la determinación de un diagnóstico sectorial, identificando los factores que condicionan, promueven o

restringen el aprovechamiento integral de los recursos geotérmicos, a nivel nacional y subregional.

La Fase 2: tenía por objeto fortalecer la capacidad institucional, regulatoria y promocional, para incentivar la explotación sustentable de los recursos geotérmicos de América Latina y favorecer un mayor intercambio comercial y tecnológico entre los países de la región y la Unión Europea. (Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe, 2000)

### **3.5.1.1 Conclusiones del Proyecto Cepal/CE**

Aunque Centroamérica viene aprovechando su potencial geotérmico hace más de un decenio, a diferencia de América del Sur; existen muchas barreras comunes al desarrollo de la geotermia en América Latina.

En Centroamérica, empresas estatales han estado a cargo del desarrollo de la geotermia, concentrándose en la realización de proyectos de generación de electricidad en grandes bloques. Sin embargo, es necesario perfeccionar la legislación y sobre todo adoptar un enfoque integral para las diferentes aplicaciones de la geotermia (electricidad o uso directo del calor). (Ver Tabla N° 3.2)

En América del Sur, el desarrollo de la geotermia no ha tenido la prioridad. El Congreso del Perú en 1997 y el de Chile en 1999, aprobaron una ley sectorial.

En la mayoría de los países de la Región no se considera al recurso en la definición de la planificación energética, a excepción en aquéllos que han materializado proyectos que inciden fuertemente en la oferta eléctrica, pero sólo limitada a este fin.

Los proyectos desarrollados han enfatizado en los aspectos técnicos y económicos, otorgándole al tema medioambiental escasa o nula importancia. La formación de personal no ha sido suficiente y la mayor parte de las iniciativas han surgido de la cooperación internacional.

Finalmente se requiere elevar el nivel de información de las autoridades energéticas respecto de la potencialidad, beneficios y múltiples aplicaciones de esta fuente.

A partir de los obstáculos identificados, es evidente la necesidad de diseñar una estrategia regional que incluya incentivos que estimulen la participación privada, para disminuir el riesgo de pre-inversión en la exploración y explotación de las fuentes de “alta entalpía”, con el objeto de ampliar la capacidad de generación de electricidad; y por otro lado, que implique una real iniciativa de las autoridades estatales, para dar el impulso inicial a proyectos de aprovechamiento integral de los recursos en particular los de “baja entalpía” que podrían tener elevada rentabilidad social y que después de su etapa de maduración podrían ser traspasados a operadores particulares, con fines de rentabilidad privada.

Es también una labor prioritaria para el Estado, para fomentar el desarrollo de los recursos geotérmicos, definir un marco regulatorio global que establezca las responsabilidades públicas y privadas. Se debe integrar el progreso de la geotermia a los planes energéticos desde la visión del desarrollo sustentable e identificar las fuentes de financiamiento.

En este sentido, el proyecto Cepal/CE prestó asesoría en aspectos regulatorios, institucionales, técnicos y financieros a algunos países de la región (Chile, Argentina, Perú, Bolivia), surgiendo demandas de asistencia técnica en otros (Ecuador, Nicaragua, Colombia). (Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe, 2000)

Tabla N° 3.2: Situación Energética en Centroamérica.

| PAÍS        | INSTALADO MW | POTENCIAL REALISTA MW |
|-------------|--------------|-----------------------|
| México      | 755          | 6510                  |
| Costa Rica  | 142,5        | 2900                  |
| El Salvador | 161          | 2210                  |
| Guatemala   | 33,4         | 3320                  |
| Nicaragua   | 70           | 3340                  |
| Panamá      | -            | 450                   |
| Ecuador     | -            | 1700                  |
| Perú        | -            | 2990                  |
| Bolivia     | -            | 2490                  |
| Argentina   | 0,67         | 2010                  |
| Chile       | -            | 2786                  |

Fuente: José Manuel Soffia, Carlos F. Ramírez, 2004.

## CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LAS ERNC EN CHILE

### 4.1 SEGURIDAD EN EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN CHILE

La seguridad energética constituye uno de los principales desafíos que enfrentan los países que así como Chile dependen de las importaciones de diversas clases de combustible para producir la energía necesaria para la generación de electricidad, el transporte, el funcionamiento de las industrias, la calefacción de hogares y todos los requerimientos de un país que crece y se desarrolla.

Actualmente el concepto “seguridad energética” está incluido en las agendas – política, diplomática, económica, comercial e incluso militar – de la mayoría de los países. (Política de Seguridad Energética. PSE, 2006)

El revelador crecimiento de la economía del país, especialmente entre los años 1986-1998, trajo consigo un fuerte aumento de la demanda de energía primaria, así los requerimientos de derivados del petróleo crecieron a una tasa promedio anual de 5,9%, y la demanda de electricidad en un 8,2% (Balance de Energía, 2003)

En Chile, la demanda de electricidad anual crece dos puntos porcentuales por encima del producto interno bruto (PIB); esto es, cerca del 7%. En tanto, nada indica que la demanda energética pueda disminuir de manera significativa, debido a la elevada tasa de crecimiento del parque de vehículos automotores, el desarrollo industrial y el proceso de electrificación residencial y comercial.

Los niveles de demanda han convertido a Chile en un país altamente dependiente de las importaciones de energía. Así, un 97% de las necesidades de petróleo son importadas; un 84% de los requerimientos de carbón, y un 78% de sus necesidades de gas natural. A lo anterior se suman dificultades de suministro de hidrocarburos, generadas por la disponibilidad de recursos, por la inestabilidad política en la zona del Golfo Pérsico, y también por la vulnerabilidad eléctrica producto de la falta de inversión, calidad insuficiente del suministro y relativa indefensión de los usuarios. (Maldonado, 2006)

Esto exige poner en práctica proyectos vinculados con generación energética que garanticen el suministro de energía, y asimismo la diversificación de las fuentes primarias. ([www.cne.cl](http://www.cne.cl))

Exige además revertir la insuficiente inversión en expansión de la capacidad de generación eléctrica, el abastecimiento de los hidrocarburos importados, y la consideración de la sustentabilidad del desarrollo como un elemento central de la política energética que implica: asegurar un abastecimiento oportuno y a costo razonable, respetar el medio ambiente, incorporar la equidad social como parte del desarrollo energético, reducir la dependencia energética (tema inexistente en el debate energético hasta la crisis del gas en el 2004), reforzar la democracia y la participación informada, desde las primeras etapas de los mega proyectos energéticos. (Maldonado, 2006)

Siempre la matriz energética del país ha tenido una participación importante de energías renovables, sobretudo la energía hidráulica convencional, que es usada para generar electricidad. No obstante, el crecimiento de sectores como el transporte que presentan un gran consumo de derivados del petróleo, así como el incremento de la capacidad de generación eléctrica térmica a partir de gas natural; ha provocado la disminución de la participación de la energía hidráulica

convencional. A pesar de lo anterior, la participación de las energías renovables representadas por la hidroelectricidad sigue siendo significativa en el abastecimiento energético nacional.

Las restricciones de suministro de gas natural desde Argentina unida a la inestabilidad de los mercados del petróleo, favorecen y fomentan la diversificación de las fuentes energéticas del país. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

#### 4.1.1 PLAN DE SEGURIDAD ENERGÉTICA PSE

Ante este escenario, el Gobierno chileno ha impulsado un Plan de Seguridad Energética (PSE) mediante acciones de corto y mediano plazo, y cuyos objetivos son:

- Diversificar la matriz (en términos de insumos y proveedores)
- Lograr mayor independencia/autonomía
- Promover el uso eficiente e inteligente de la energía

Este plan considera fomentar activamente las inversiones en fuentes tradicionales y no tradicionales, de manera de lograr una buena combinación de insumos en la matriz que contemple el uso de fuentes propias – hidráulicas, eólicas, geotérmicas, biomasa, solar – y fuentes en base a combustibles importados, como el carbón y el Gas Natural Licuado (GNL), con el fin de minimizar la dependencia respecto a insumos y proveedores específicos.

##### 4.1.1.1 Variables que influyen en la Seguridad Energética

###### a. Alto Grado de Dependencia

En Chile se importa el 72% del consumo de energía (petróleo, gas y carbón), lo que hace que el país sea vulnerable ante la alza de precios internacionales y ante las interrupciones del suministro.

###### b. Frecuentes Cortes de Suministro de Gas desde Argentina

Estos recortes que afectan al país desde 2004 siguen ocurriendo y aumentando en volumen ya que Argentina no tiene la capacidad suficiente para satisfacer su

creciente demanda interna, y porque ante eventos climáticos específicos debe privilegiar su propio suministro.

#### **c. Variables Hidrológicas (SIC)**

Un 55% de la capacidad instalada de generación eléctrica en el Sistema Interconectado Central (SIC) es hidráulica, por lo cual las lluvias y deshielos afectan enormemente la cantidad de energía disponible para satisfacer la demanda.

#### **d. Variables Medioambientales (SIC)**

Las restricciones ambientales que pueden surgir en zonas saturadas debido a emisiones de las centrales a diesel y carbón impactan sobre la cantidad de energía disponible.

#### **e. Aplazamiento de inversiones (SIC)**

La incertidumbre generada por los cortes de gas, tanto por la seguridad en el suministro como por los futuros precios futuros de importación del combustible, trajo consigo una demora en las inversiones en generación eléctrica. Esta situación fue revertida con la promulgación de la Ley Corta II en mayo de 2005. (Ver punto 4.3.1 Ley Corta I y II)

#### **f. Desafíos logísticos y técnicos (SING)**

En el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) hay un exceso de capacidad instalada (3.596 MW para una demanda máxima de 1.570 MW). En caso de cortes totales de gas, el sistema puede operar en base a carbón y diesel. No obstante, existen dificultades logísticas (relacionadas con el transporte y almacenamiento de diesel) que deben ser superadas para garantizar la seguridad del sistema. (Política de Seguridad Energética PSE, 2006)

## **4.2 ERNC EN CHILE**

Según el grado de desarrollo de las tecnologías para su utilización y de acuerdo a la presencia en los mercados energéticos que presenten; las energías renovables

se clasifican en convencionales y no convencionales. La más conocida entre las energías renovables convencionales es la hidráulica a gran escala.

Las energías renovables no convencionales (ERNC), que corresponden a la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos; también incluyen los procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa, así como la utilización de la energía hidráulica en pequeñas escalas.

Las ERNC pueden colaborar con los objetivos de seguridad de suministro energético y con la sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas, y la dimensión de esa contribución y la viabilidad económica de su funcionamiento depende del potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y características de los mercados energéticos en los cuales competirían.

En cuanto a los impactos ambientales que las ERNC generan, por el hecho de ser propias del lugar donde se utilizan, y según su forma de utilización; estos son significativamente inferiores a los provocados por las fuentes convencionales de energía.

Si bien actualmente las ERNC presentan una participación marginal en el consumo bruto de energía en Chile, han tenido un aporte real en el suministro energético de zonas rurales, reforzada cada vez más por las políticas gubernamentales vinculadas con la electrificación rural. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

#### 4.2.1 POTENCIAL DE ERNC

Por la particular geografía del país que incluye desierto en el norte, recursos hídricos en el sur, cadenas montañosas y manifestaciones volcánicas, y costa a lo largo de todo el territorio; se ha estimado un gran potencial para la utilización de ERNC (Jara, 2006)

Sin embargo, aún no ha sido definido este potencial debido a que es necesario determinar el potencial teórico, el técnico y el económico; dependiendo los dos últimos del desarrollo tecnológico y de la evolución de precios de la energía.

Considerando únicamente las ERNC con mejores perspectivas de competitividad, el potencial técnico es:

|                   |   |
|-------------------|---|
| Geotermia         | = Miles de MW (entre 1200 y 8000 MW aprox.) |
| Eólica            | = Miles de MW (más de 5000 MW)              |
| Hidráulica < 20MW | = Cientos o miles de MW                     |
| Biomasa           | = Cientos de MW                             |

En tanto, la CNE con cooperación internacional está mejorando la evaluación de los potenciales de las ERNC no cubiertas activamente por privados tales como la eólica y biomasa (sólida y biogás). (Las Energías Renovables No Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, CNE, 2006)

#### 4.2.2 ERNC EN EL PLAN DE SEGURIDAD ENERGÉTICA (PSE)

Entre las acciones de mediano plazo contempladas por el Plan de Seguridad Energética PSE está el desarrollo de las ERNC, donde se establece que el Programa de Gobierno de la Presidenta Bachelet se compromete a promover y desarrollar todas las acciones necesarias para que el 15% de la nueva capacidad instalada hacia el 2010 se logre con ERNC.

El marco regulatorio respecto a tecnologías y fuentes empleadas para la generación eléctrica siempre ha sido neutral, creando condiciones de competencia similares. Por eso, la Ley Corta I delimitó un antes y un después al definir por primera vez un trato preferencial para las ERNC de menos de 20 MW (exención del pago de peaje troncal para centrales pequeñas); y la Ley Corta II incluyó beneficios adicionales (reserva un 5% de la licitación del suministro de las distribuidoras para generados de ERNC).

Sumado a las modificaciones legales se emprendieron acciones e instrumentos de fomento, entre las que se destacan:

- Concurso CNE-CORFO (2006) destinado a financiar estudios especializados en etapa de preinversión para proyectos de generación en ERNC. (Ver detalle en 4.3.2 Actividades de Promoción)
- Información sobre mediciones de viento del país.
- Información sobre el potencial de biogás a partir de biomasa.
- Información sobre el potencial de generación eléctrica de residuos del manejo y cosecha forestal.
- Manual para presentar proyectos al Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.
- Seminario Internacional y una ronda de negocios organizados por CORFO, con el objetivo de atraer inversiones en ERNC, donde se realizaron 400 reuniones de negocios, con la participación de 140 empresarios de 18 países. En el evento, CORFO anunció la disponibilidad de US\$ 100 millones para créditos de hasta 12 años a tasas preferentes para proyectos ERNC, y comunicó también la disponibilidad de recursos CORFO para fondos de inversión en iniciativas ERNC.

Además, existe una propuesta de trabajo entre el gobierno y el sector minero, para apoyar iniciativas de ERNC y de eficiencia energética en este sector. (CORFO-CNE).

Existen 19 proyectos de ERNC por un total de 429 MW (12 minihidráulica, 2 biomasa, 5 eólico) frente a los 285,7 MW de ERNC instalados. (2,4% del total de capacidad instalada de generación eléctrica). (Ver Figura N° 4.1)

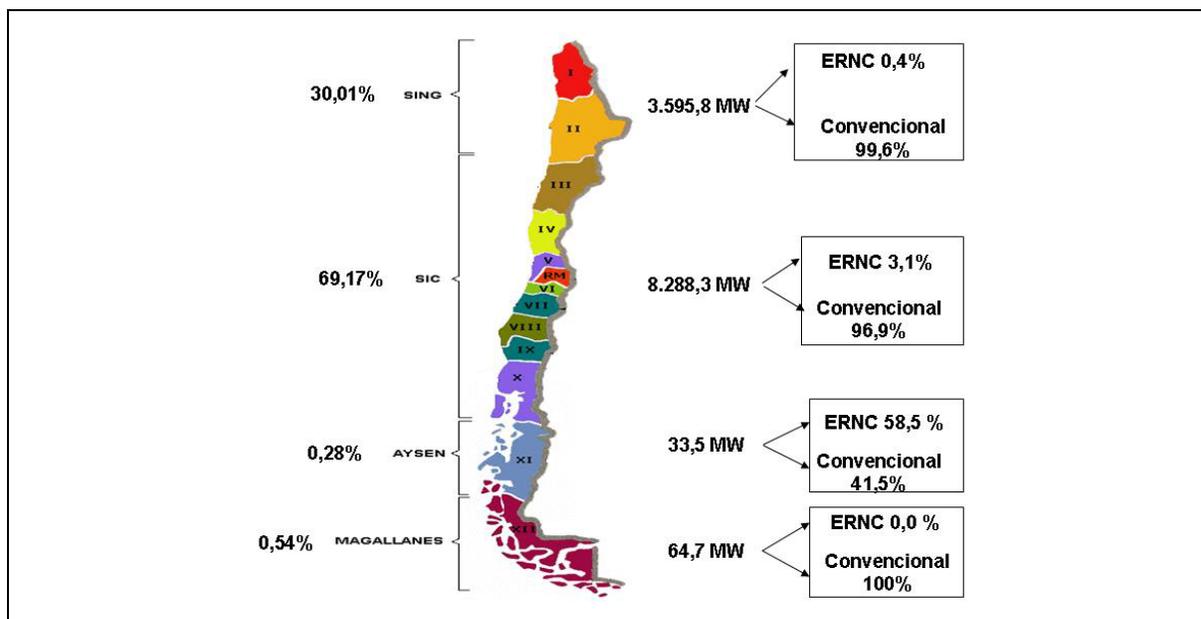
Por su parte, el Senado y la Cámara de Diputados presentaron dos proyectos de Ley relacionados con ERNC, los que están siendo evaluados por el Gobierno con el fin de garantizar la promoción de la inversión en ERNC con un desarrollo eficiente.

En tanto, el gobierno está evaluando las eventuales distorsiones asociadas a los incentivos restringidos a proyectos ERNC de tamaño menor a 20 MW (en particular para la geotermia y eólico). (Política de Seguridad Energética PSE, 2006)

De acuerdo a lo expuesto y de manera general, la contribución de ERNC a la Seguridad Energética del país involucra diversificar la matriz, reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero, favorecer el ingreso de nuevos actores al mercado eléctrico, promover la innovación y el emprendimiento, y crear nuevas oportunidades de negocios (Aravena, 2006)

#### 4.2.3 TIPOS DE ERNC DESARROLLADAS Y CON POTENCIAL EN CHILE

Las ERNC representan sólo el 2,4% del total de la capacidad instalada en Chile, ya que a los precios actuales, éstas sólo son competitivas para satisfacer consumos eléctricos pequeños en lugares muy alejados de los sistemas eléctricos existentes. (Ver Figura N° 4.1)



|              |   | <b>Fuente</b>             | <b>SIC</b>     | <b>SING</b>    | <b>MAG</b>  | <b>Aysén</b> | <b>Total</b>    |
|--------------|---|---------------------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|
| Convencional | } | Hidráulica > 20 MW        | 4,612.9        | 0.0            | 0.0         | 0.0          | 4,612.9         |
|              |   | Comb. Fósiles             | 3,422.1        | 3583.0         | 64.7        | 13.88        | 7,083.7         |
|              |   | <b>Total Convencional</b> | <b>8,035.0</b> | <b>3,583.0</b> | <b>64.7</b> | <b>13.9</b>  | <b>11,696.6</b> |
| ERNC         | } | Hidráulica < 20 MW        | 82.4           | 12.8           | 0.0         | 17.6         | 112.8           |
|              |   | Biomasa                   | 170.9          | 0.0            | 0.0         | 0.0          | 170.9           |
|              |   | Eólica                    | 0.0            | 0.0            | 0.0         | 2.0          | 2.0             |
|              |   | <b>Total ERNC</b>         | <b>253.3</b>   | <b>12.8</b>    | <b>0.0</b>  | <b>19.6</b>  | <b>285.7</b>    |
|              |   | <b>Total Nacional</b>     | <b>8,288.3</b> | <b>3,595.8</b> | <b>64.7</b> | <b>33.5</b>  | <b>11,982.3</b> |
|              |   | <b>ERNC %</b>             | <b>3,1%</b>    | <b>0,4%</b>    | <b>0,0%</b> | <b>58,5%</b> | <b>2,4%</b>     |

Figura N° 4.1: Capacidad Instalada de Generación Eléctrica por Sistema: 2005.  
Fuente: CNE.

Las energías renovables no convencionales que tienen un potencial de desarrollo en nuestro país son: Eólica, Biomasa, Solar, Hídrica, Mareomotriz y Geotérmica.

#### 4.2.3.1 Potencial del Recurso Eólico

Entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se transforma en viento debido al movimiento del aire surgido del calentamiento heterogéneo de la superficie de la tierra.

La energía eólica convertida en energía mecánica ha sido históricamente aprovechada, siendo su uso para la generación de energía eléctrica más reciente, el cual fue originado a mitad de la década de los 70's como reacción ante la crisis del petróleo y los impactos ambientales ocasionados por la utilización de combustibles fósiles.

Este recurso se caracteriza porque depende de las condiciones atmosféricas, lo que exige rigurosas mediciones como condición previa en el desarrollo de proyectos. (<http://www.cne.cl>)

Existen algunos estudios tendientes a describir parcialmente el potencial energético eólico nacional y hay otros en ejecución. En 1992 se hizo una recopilación de la mayoría de la información de viento disponible a esa fecha, pero debido a la baja densidad y características de las estaciones meteorológicas disponibles, el estudio no permitió acceder una visualización global del potencial

eólico de Chile. (Evaluación del potencial de energía eólica en Chile, CORFO, citado en [http://www.cne.cl/fuentes\\_energeticas/e\\_renovables/eolica.php](http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/e_renovables/eolica.php))

A lo largo de Chile las zonas identificadas con potencial eólico explotable con fines de generación eléctrica son: la zona de Calama en la II región y otras zonas altiplánicas; sector costero y zonas de cerros de la IV región y eventualmente, de las otras regiones del norte del país; puntas que penetran al océano en la costa de la zona norte y central; zonas costeras abiertas al océano y zonas abiertas hacia las pampas patagónicas en las regiones XI y XII. (Jara, 2006)

En el país existe sólo una instalación de energía eólica conectada a un sistema de distribución: la central Alto Baguales, Coyhaique, XI región. Esta central cuenta con tres aerogeneradores, que tienen una potencia nominal de 660 KW cada uno, los que en conjunto aportan cerca de 2 MW. (Ver Figura N° 4.1). Desde el 2001 esta central se encuentra conectada al Sistema Eléctrico de Aysén, y aún cuando este parque eólico es pequeño, se puede usar como un ejemplo piloto, que se puede extrapolar, ya sea al Sistema Interconectado Central (SIC) o al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Por otra parte, existen otras iniciativas tales como el proyecto "Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables", trabajo conjunto entre el Gobierno de Chile y la Organización de las Naciones Unidas; y el proyecto de cooperación técnica alemana "Energías Renovables No Convencionales", que ejecutan GTZ y CNE.

En cuanto a la participación de privados, durante los últimos años diversas empresas han encabezado mediciones del recurso eólico en Chile con fines de evaluación de parques eólicos en los Sistemas Eléctricos Central y del Norte Grande. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

Endesa tiene proyectado un parque eólico en la IV Región, que aportaría casi 10 MW a partir de 2007. Esta es una de las energías que ha logrado mayor desarrollo en el mundo. Dinamarca satisface el 20% de su consumo eléctrico con energía eólica, España el 8%, y Alemania, un 6%. (Impulso a las Energías renovables, 2006)

Basado en los proyectos e iniciativas vigentes, la energía eólica debiera mostrar un desarrollo a mediano plazo, una vez que se completen los mapas eólicos. (Jara, 2006)

#### **4.2.3.2 Aplicaciones energéticas a partir de Biomasa**

Biomasa es el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde a toda aquella energía que puede obtenerse de ella mediante su combustión directa o a partir de su procesamiento para obtener otro combustible. (Producción de gas, energía calórica (térmica) y energía eléctrica)

En Chile la biomasa es usada para producir electricidad e inyectarla a la red, mediante el aprovechamiento de los residuos energéticos de procesos de producción de celulosa. Existe una capacidad instalada de 170,9 MW en plantas termoeléctricas que utilizan desechos forestales como combustibles. (Ver Figura N° 4.1)

Por su parte, la extracción del biogás desde vertederos de basura constituye un gran aporte a la utilización de ERNC en el país. Aquí el biogás es procesado y agregado como componente del gas de ciudad en Santiago y Valparaíso.

Además, la biomasa es usada para generar electricidad en zonas rurales aisladas. En este sentido, dentro del Programa de Electrificación Rural (PER), la Comisión Nacional de Energía (CNE) en conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) puso en marcha un proyecto piloto para generar electricidad a partir de la gasificación de la biomasa y abastecer de energía eléctrica a 31 familias de la localidad de Metahue, Isla Butachauques, en la Xª Región.

El principal objetivo de este proyecto fue introducir una nueva tecnología y validarla como una alternativa para el suministro de electricidad de sectores rurales aislados. (<http://www.cne.cl>)

Según cifras de CNE, el 50,1% del uso que se da a las energías provenientes de la biomasa corresponde a la electrificación doméstica; el 36,8% a la calefacción; y el 11,6% a las comunicaciones.

El biogás tuvo una participación que alcanzó en su momento máximo (años 1995 y 1996) un consumo de 339 Tcal anuales, un 0,2% de la matriz energética primaria. Sin embargo con la llegada del gas natural, que conllevó una baja de precios de la energía y beneficios ambientales, su demanda y consumo decayó hasta 0,01% en 2001 y un valor nulo en 2002, de acuerdo a cifras del Balance Energético Nacional 2002. (Jara, 2006)

Según informes del Programa de Estudios e Investigaciones de Energía (PRIEN) de la Universidad de Chile, el potencial en Chile en el aprovechamiento de desechos de plantaciones forestales es de aproximadamente 300 MW. Actualmente la industria de la celulosa y la del secado de madera usan este tipo de energía y en ocasiones colocan sus excedentes en el Sistema Interconectado Central (SIC). (Impulso a las Energías renovables, 2006)

#### **4.2.3.3 Aplicaciones de la Energía Solar**

La energía solar proviene del aprovechamiento directo de la radiación del sol, y de ella se la cual se obtiene calor a través de colectores, y electricidad mediante paneles fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos, conformados por un conjunto de celdas solares constituyen una solución para el suministro eléctrico en las áreas rurales que poseen recurso solar en abundancia.

En Chile la energía solar es utilizada principalmente en la zona norte del país, donde existe uno de los niveles de radiación más altos del mundo.

Según el archivo solarimétrico nacional elaborado por la Universidad Técnica Federico Santa María, el norte de Chile presenta condiciones altamente favorables para la utilización de la energía solar, incluso el potencial de energía solar existente entre las regiones I y IV puede clasificarse entre los más altos a nivel mundial.

El desarrollo de la tecnología fotovoltaica en nuestro país incluye aplicaciones realizadas por empresas de telecomunicaciones, aplicaciones en retransmisión de televisión en sectores aislados, sistemas de iluminación de faros con paneles fotovoltaicos y electrificación rural.

Dentro del Programa de Electrificación Rural (PER), municipalidades, Gobiernos Regionales y particulares, han instalado estos sistemas para alumbrado y electrificación doméstica. Actualmente, el uso de estas tecnologías está siendo promovido e implementado por proyectos de la CNE, dentro del Programa de Electrificación Rural (PER) (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

#### **4.2.3.4 Energía Hídrica**

Una de las fuentes primarias principales de abastecimiento energético en el país es la energía hidráulica convencional, usada para generación eléctrica en grandes centrales conectadas a sistemas eléctricos.

Una central hidroeléctrica tiene como objetivo transformar la energía cinética y potencial del agua en electricidad, esto se realiza mediante la presión que ejerce el agua sobre una turbina hidráulica que le otorga movimiento rotatorio a un generador eléctrico.

Algunas regiones que exhiben favorables condiciones geográficas y climáticas, constituyen lugares privilegiados para el aprovechamiento de la energía hídrica. Zonas cordilleranas en casi toda la extensión de las zonas central y sur, áreas como Chiloé continental y sectores aislados desde la VIII Región al sur, son especialmente apropiados para la instalación de muchas centrales de pequeño tamaño. Por esta razón, este tipo de energía tiene un espacio relevante de promoción dentro del programa de electrificación rural (PER). (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

Las mini y micro centrales hidroeléctricas con potencias menores a 1.000 KW (1MW) son consideradas ERNC debido a su menor nivel de implementación y a que son una alternativa para el suministro de electricidad en localidades rurales. Actualmente existen 110 instalaciones de este tipo en el país destinadas a la electrificación de viviendas y a telecomunicaciones.

En cuanto a las centrales hidráulicas de pequeña escala, es decir, con capacidad inferior a los 20 MW, la Asociación Chilena de Energías Renovables Alternativas A.G. (ACERA), señala que existen al menos 30 proyectos de centrales hidráulicas de pequeña escala entre la IV y X regiones, las que suman un total de 140 MW y una inversión estimada de US \$ 210 millones. La gran cantidad de iniciativas se explica por los incentivos incluidos en las Leyes Corta I y II, y en este sentido la ACERA estima que en los próximos 10 años se producirán al menos 300 MW en base a minicentrales. (Jara, 2006) Endesa ya está construyendo la central minihidráulica Ojos de Agua, en la VII Región, con una capacidad de 9,5 MW la que entrará en funcionamiento durante el 2008. (Impulso a las Energías renovables, 2006)

En base a lo expuesto, se puede señalar que la energía hidráulica seguirá siendo la de mayor desarrollo en Chile, ya que sólo el 13% del potencial disponible se encuentra en operación actualmente. Por lo tanto, con una utilización racional y sustentable de los recursos renovables, en los próximos años se debiera concretar una gran cantidad de centrales hidroeléctricas (pequeña, mediana y gran escala) (Jara, 2006)

#### **4.2.3.5 Energía Mareomotriz**

Aunque Chile se caracteriza por una extensa zona costera, y a pesar del enorme potencial que exhiben fiordos y canales del sur con olas de hasta 8 metros; no existen proyectos concretos que pretendan aprovechar la energía mareomotriz. Entre otras razones, esto se explica porque la energía de las mareas es una de las ERNC más costosas. (Impulso a las Energías renovables, 2006)

Existen algunas iniciativas tales como el programa de investigación en energía mareomotriz desarrollado por la Universidad de Magallanes, y que está basado en el aprovechamiento de la energía de las corrientes marinas del estrecho de Magallanes.

Otro planteamiento aún en etapa primaria, corresponde al aprovechamiento de las corrientes marinas del canal de Chacao, X región. (Jara, 2006)

#### **4.2.3.6 Energía Geotérmica**

Esta energía corresponde al calor contenido al interior de la tierra. Según información proporcionada por la subsecretaría de minería, Chile posee un potencial aprovechable de hasta 3.350 MW en recursos geotérmicos. Por tratarse esta investigación específicamente de la energía geotérmica y sus condiciones actuales de desarrollo en el país, se profundizará el tema en el capítulo 5.

#### **4.2.3.7 Participación en ERNC de empresarios extranjeros y nacionales**

Entre las iniciativas de privados extranjeros para el desarrollo de ERNC en el país se distinguen compañías españolas, australianas y norteamericanas que están trabajando en Chile en proyectos de minicentrales hidráulicas, geotermia y energía eólica. Por su parte, Colbún, representando al sector empresarial nacional creó una unidad especializada para identificar oportunidades de negocios en el área de las ERNC. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

### **4.3 INCENTIVOS A LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN CHILE**

El creciente interés por concretar inversiones en esta área se debe principalmente al aumento del consumo eléctrico (7% anual), lo que ha generado una importante demanda por nuevas fuentes generadoras de energía. (Corporación Nacional de Fomento, CORFO, 2007)

En cuanto a las iniciativas que favorecen el desarrollo de las ERNC en Chile están los cambios legislativos y las señales dadas por el gobierno a través de la generación de proyectos o la firma de acuerdos.

El Gobierno ha definido una meta de introducción de las ERNC, lo que impulsa su desarrollo y legitima su existencia como fuente viable de abastecimiento energético.

Además en este sentido, las ERNC están incorporadas en el marco del Plan de Seguridad Energética del país, contribuyendo a una mayor independencia energética y permitiendo la transición hacia una mayor diversificación.

Por otra parte, en el ámbito específico de privados, actualmente existe un ambiente de mayor competitividad lo que favorece la introducción de ERNC en Chile. (Las Energías Renovables no Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, CNE, 2006)

En el año 2005 la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), presentaron una evaluación del desempeño ambiental de Chile. En dicho informe se plantearon recomendaciones que estaban directamente relacionadas con el uso eficiente de la energía y el desarrollo de las energías renovables.

En Chile no existen limitaciones reglamentarias a la incorporación de fuentes de ERNC; sin embargo, sólo a partir del 2004 y tras la publicación de la Ley N° 19.940, se indican incentivos para invertir en este tipo de fuentes.

Con anterioridad a la introducción de modificaciones legislativas, el desarrollo de las ERNC estaba supeditado a su competitividad, tanto en precios como en calidad y seguridad del suministro, frente a las fuentes convencionales. Sin embargo, existían distorsiones del mercado, principalmente debido a una sensación de riesgo para el inversionista asociado a la falta de regulación específica. Esta situación impidió un mayor desarrollo de las ERNC. En este sentido, la autoridad, a través de la CNE, se ha propuesto identificar y eliminar las barreras distintas a las económicas, para fomentar el desarrollo de las ERNC.

El 2000 fue publicada en el Diario Oficial La Ley N° 19.657 "Sobre Concesiones de Energía Geotérmica". Esta ley define las condiciones reglamentarias para la participación de empresas privadas en las actividades de exploración y explotación de esta fuente energética.

Las leyes 19.940 y 20.018 (Ley Corta I y II) publicadas en el Diario Oficial en el 2004 y 2005 respectivamente, constituyen un importante paso al establecer los primeros incentivos concretos para el desarrollo de las ERNC. (Jara, 2006)

### 4.3.1 LEY CORTA I Y II

Gracias a estas leyes se dio por primera vez un trato diferenciado a las fuentes de ERNC, mejorando la viabilidad técnica y económica de este tipo de proyectos, ya que se liberó total o parcialmente del pago de peaje de transmisión troncal a las fuentes generadoras menores a 20MW. Además se aseguró el derecho a la venta de potencia y energía al mercado mayorista para cualquier generador, independiente de su tamaño y se aseguró mayor estabilidad en los precios, los que se pueden fijar a largo plazo (hasta por 15 años). También se indica en ese cuerpo legal, el derecho a ofrecer en las licitaciones reguladas, a las empresas distribuidoras, hasta el 5% del total de demanda destinada a clientes regulados. (Las Energías Renovables no Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, CNE, 2006)

### 4.3.2 ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN

CORFO y CNE han concretado un concurso de apoyo a proyectos ERNC denominado “Promoción y atracción de inversiones para la generación de energías a partir de fuentes renovables”, y cuyos objetivos son mejorar las condiciones iniciales para el desarrollo de las oportunidades de negocios creadas en la Ley Eléctrica, y mejorar la confianza y conocimiento en los inversionistas no tradicionales.

A través de recursos financieros se co-financian Estudios de Preinversión en sus diversas etapas desde la caracterización del recurso energético, pasando por la ingeniería, evaluación económica, impacto ambiental, etc. (Bravo, 2005)

En el primer concurso 46 propuestas fueron favorecidas (22 hidráulicas, 12 eólicas, 11 biomasa y 1 geotérmica). En su segunda versión 40 proyectos obtuvieron un total de US \$ 1,28 millones (18 hidráulicos, 16 eólicos y 6 biomasa) (“Política de Seguridad Energética”. PSE. CNE, 2006). Con motivo de su tercera convocatoria realizada el presente año, se aumentó el monto máximo de asignación en un 20%, disponiendo de más de US\$ 60 mil por proyecto.

Estos fondos adicionales otorgan créditos de largo plazo a proyectos de ERNC, permitiendo tasas de interés, periodos de gracia y plazos de amortización únicos en el mercado local. (Corporación Nacional de Fomento, CORFO, 2007)

Por su parte, el Programa Nacional de Electrificación Rural (PER), creado por la CNE a fines del 2004, ha constituido un fuerte estímulo para el desarrollo de las ERNC, fuera del sistema de distribución. El gobierno se comprometió a alcanzar una cobertura de 90% de viviendas rurales electrificadas a nivel nacional y regional, así como a mejorar la calidad del abastecimiento de energía en comunidades aisladas, favoreciendo el uso de las energías renovables. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

Además de las herramientas de incentivo impulsadas por el gobierno, el desarrollo de proyectos de ERNC tiene la ventaja de que Chile está a la vanguardia en el mercado de la venta de bonos de carbono (Protocolo de Kyoto), lo que representa una fuente de ingresos extra y que puede servir para amortizar los mayores costos que implica este tipo de inversión.

En el desarrollo de las ERNC en Chile es posible identificar dos ámbitos de acción. En primer lugar, el de las ERNC de sistemas aislados y que busca solucionar problemas puntuales de acceso a la energía eléctrica. En segundo lugar, las ERNC conectadas a un sistema troncal principal (el SIC por ejemplo) donde se prevé que exista algún desarrollo en el mediano plazo, que permita a la matriz energética nacional exhibir un porcentaje de esta clase de energía.

En la medida en que se empiecen a materializar proyectos de ERNC de mayor escala, se debería ir construyendo un camino hacia la creación de una legislación concreta y particular para el fomento de este tipo de energía, donde se consideren aspectos básicos tales como el aseguramiento de la compra de energía, premios o primas a las ERNC, fondos programados de incentivos y fondos concursables, entre otros; todos ellos incentivos similares a los de los países donde las ERNC han tenido un gran desarrollo (Alemania, España, etc.). (Jara, 2006)

#### **4.4 VENTAJAS DE LAS ERNC EN EL ÁMBITO DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO**

- Son fuentes autóctonas, contribuyen a la diversificación y a disminuir la vulnerabilidad externa.
- Sus costos de generación son estables (Independientes de costos de derivados del petróleo)
- Contribuyen a disminuir la incertidumbre del precio de largo plazo de la energía.
- Constituyen un suministro confiable en escalas temporales largas: Poca variabilidad
- Interanual (geotermia, eólica, biomasa). La excepción es la energía hidráulica.
- Implican plazos menores de maduración y construcción (eólica, biomasa, pequeña hidráulica). La excepción es la geotermia.
- Corresponden a proyectos pequeños o Modulares y distribuidos geográficamente: flexibilidad para adaptarse al crecimiento de la demanda sistémica y local. (Las Energías Renovables no Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, CNE, 2006)

#### **4.5 DESVENTAJAS DE LAS ERNC**

Existen factores que desincentivan el emprendimiento de proyectos ERNC:

- El desarrollo de estas energías es más caro. Para el académico Leonardo Valencia de la Universidad Adolfo Ibáñez, el alto costo del desarrollo es la principal razón para no invertir en ERNC. Por otra parte existe poca investigación y desarrollo, dependen de procesos cíclicos difíciles de modelar y predecir; y los costos e impactos ambientales no están incorporados en las energías convencionales. (Impulso a las Energías renovables, 2006)
- Son intensivas en uso de capital: riesgosas desde el punto de vista privado en mercados con incertidumbre respecto de los precios de largo plazo de la energía.

- Son innovadoras en el país, por lo que el mercado de servicios es escaso, inmaduro o de baja calidad.
- Exhiben mayor riesgo técnico de los proyectos y mayor costo de desarrollo (eólica, biogás, geotermia).
- Son menos atractivas para empresas de generación tradicionales.
- Son intermitentes (eólica, pequeña hidráulica)
- Generalmente están en zonas con infraestructura precaria.
- Implican una elevada relación riesgo/inversión para etapa de exploración geotérmica. (Las Energías Renovables no Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, CNE, 2006)

#### **4.6 BARRERAS PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ERNC EN CHILE**

A pesar del potencial que el país posee, existen obstáculos a su desarrollo tales como la ausencia de la variable ambiental en la comparación con las fuentes convencionales, el costo de conversión elevado, el desconocimiento del recurso, una muy débil institucionalidad e insuficientes recursos humanos, técnicos y financieros.

Por otra parte el país carece de una política agresiva de desarrollo de las ERNC (como las de países industrializados tales como Alemania, España, Estados Unidos o Dinamarca) que defina precios que vayan disminuyendo en el tiempo en función de los costos de generación de las distintas tecnologías, unido a otros incentivos. Esta línea de acción considera, entre otros criterios, que mientras los costos de las fuentes convencionales exhiben una tendencia al alza, las ERNC presentan una tendencia contraria, con una esperada intersección en pocos años más. (Maldonado, 2006)

Otras barreras detectadas en cuanto a la aplicación de tecnologías que permitan desarrollar las ERNC son: la incertidumbre en cuanto a los costos reales de inversión y operación; dificultad para escoger fuentes menos conocidas ante

opciones de generación ya probadas; limitada información acerca del potencial y localización de recursos renovables; y la falta de experiencia práctica. (Las Energías Renovables no Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, CNE, 2006)

El gobierno dando una fuerte señal de fomento a las ERNC, ha comenzado a elaborar programas para superar estas barreras. El impulso inyectado a estas tecnologías persigue lograr a futuro un porcentaje significativo de ERNC en la matriz energética del país. En este sentido, la Comisión Nacional de Energía (CNE) estima el 5,3% para 2015 y 17,5% para 2025, de la matriz energética nacional con esta clase de energía. (Jara, 2006)

## **CAPÍTULO 5: GEOTERMIA EN CHILE**

### **5.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**

Como ya se expuso en el capítulo 4, el Plan de Seguridad Energética impulsado por el Gobierno, pretende entre otros objetivos, diversificar la matriz en base a ERNC. Así, la meta del gobierno es que un 15% del aumento de la capacidad instalada (MW) de generación al 2010 sea a partir de geotermia, biomasa, eólica y mini hidro.

De esta forma, al 2010 se deberá tener una capacidad instalada en ERNC de aproximadamente 420 MW.

En el logro de esta meta la geotermia desempeña un importante rol, que se estima podría representar entre un 10% y 18%. (Aravena, 2006)

### **5.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA GENERACIÓN GEOTERMOELÉCTRICA**

Una central geotérmica consiste en una perforación realizada en la corteza terrestre con el objeto de alcanzar una fuente geotérmica. Su funcionamiento es

simple; se trata de un tubo introducido en la perforación practicada, que conduce un fluido acuoso desde la fuente de calor hacia la superficie, en donde una turbina, acoplada al tubo, con un generador de energía eléctrica se encargan de transformar la energía calórica en energía eléctrica. Esta idea básica de generación admite distintas tecnologías que siempre utilizan un fluido en estado de vapor que puede accionar una turbina a vapor y luego un generador eléctrico.

Características técnicas relevantes de la tecnología de generación geotérmica:

- La eficiencia térmica del proceso geotérmico para la generación de electricidad se estima (dependiendo del yacimiento y la tecnología utilizada), entre un 10% y un 17%.
- Un pozo de perforación tiene una capacidad de producción eléctrica entre 6 y 8 MWe, existiendo excepciones de pozos de hasta 40 MWe.
- Lo anterior indica solidez desde la perspectiva de la operación de un parque geotérmico. Cada unidad de generación funciona de manera independiente, por lo que la salida súbita de una unidad no debiera afectar la operación de las demás unidades.
- La vida útil de un yacimiento geotérmico para generación eléctrica es entre 30 y 50 años. Sin embargo, esto depende de las características geológicas del yacimiento y del tratamiento que se le de al vapor extraído.
- La manera natural de explotación de yacimientos geotérmicos es pozo por pozo, verificando la calidad de una nueva perforación y el efecto no perjudicial sobre los pozos productivos existentes.
- En el mundo existe variedad de proveedores de centrales de generación eléctrica geotérmicas, lo que admite competencia entre estas tecnologías, y con ello el surgimiento de oportunidades de mercado de nuevos proyectos. (Simulación Preliminar de Desempeño Operacional y Comercial de Centrales de Generación Eléctrica Geotérmicas y Eólicas, 2003)

### 5.2.1 VENTAJAS DE LA GEOTERMoeLETRICIDAD

La electricidad generada a partir de recursos geotérmicos contribuye a la seguridad del suministro, ya que disminuye la dependencia externa e incrementa la diversificación de las fuentes energéticas.

Además, el abastecimiento energético a partir de la geotermia es de alta calidad: no depende de estados meteorológicos, opera en base, alto factor de planta (90%), desarrollo modular permitiendo un buen ajuste entre crecimiento de la demanda y oferta eléctrica.

Por otra parte, la geotermoelectricidad implica bajos costos operacionales, con costos de generación estables no supeditados a mercados internacionales.

En cuanto a la distribución de los recursos, las manifestaciones geotérmicas en Chile abarcan zonas cubiertas por el SIC (Sistema Interconectado Central) y el SING (Sistema Interconectado del Norte Grande)

Finalmente, en cuanto a los efectos medioambientales de este tipo de generación eléctrica, con un apropiado manejo exhibe bajos impactos ambientales. (Aravena, 2006)

## 5.3 CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS Y RIESGOS VINCULADOS A LA GENERACIÓN GEOTERMoeLÉCTRICA

En cualquier estimación de costos, así se trate de planta o de costos de operación y del precio de los “productos” de la energía geotérmica; los elementos a considerar son más numerosos y complicados que en otra clase de energía, por lo que deben ser rigurosamente evaluados previo a la iniciación de un proyecto geotérmico. (Dickson y Fanelli)

En cuanto a los costos involucrados, la perforación y terminación de un pozo corresponden entre el 30 y 50% del costo de inversión del proyecto (aunque el costo variable de operación de una central geotérmica es muy bajo), que es mucho mayor que los costos de inversión de centrales convencionales. Esto

último hace necesario reducir los costos para competir con las tecnologías actuales de generación, mediante financiamiento especial del gobierno a los inversionistas privados. (Geothermal Technologies Program, 2005)

### 5.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COSTO DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA

Los más relevantes son:

- Temperatura y profundidad del recurso
- Tipo de recurso (vapor, líquido)
- Química del fluido geotérmico
- Permeabilidad del recurso
- El tamaño de la planta. En este tipo de centrales existen economías de escala importantes. Es decir, a mayores tamaños de centrales geotérmicas menores costos medios de producción de energía.
- EL tipo de tecnología de la planta.
- Infraestructura.
- Condiciones climáticas del sitio
- Topografía del sitio
- Restricciones medioambientales y estudios
- Cercanía a las líneas de transmisión
- Costos indirectos como: administrativos, permisos, financiamiento, impuestos, etc. Por ejemplo: los costos indirectos para una planta geotérmica en países subdesarrollados representan cerca del 30% del costo total o más.

(Geothermal Technologies Program, 2005)

### 5.3.2 COSTOS ASOCIADOS

#### 5.3.2.1 Costos existentes en la Etapa de Perforación de pozos

Como se ve en la Tabla N° 5.1 y en la Figura N° 5.1, es mucho más caro extraer el vapor de alta temperatura, ya que se encuentra a una profundidad mucho mayor.

Tabla N° 5.1: Costos asociados a la fase de perforación de pozos.

|                               | <b>Costo US\$/Ton. de vapor</b> | <b>Costo cUS\$/Ton. de Agua caliente</b> |
|-------------------------------|---------------------------------|--|
| Temperatura Alta (> 150°C)    | 3.5 – 6.0                       | 20-40                                    |
| Temperatura Media (100-150°C) | 3.0-4.5                         | 20-40                                    |
| Temperatura Baja (<100°C)     | 3.0-4.5                         | 20-40                                    |

Fuente: <http://www.worldbank.com>

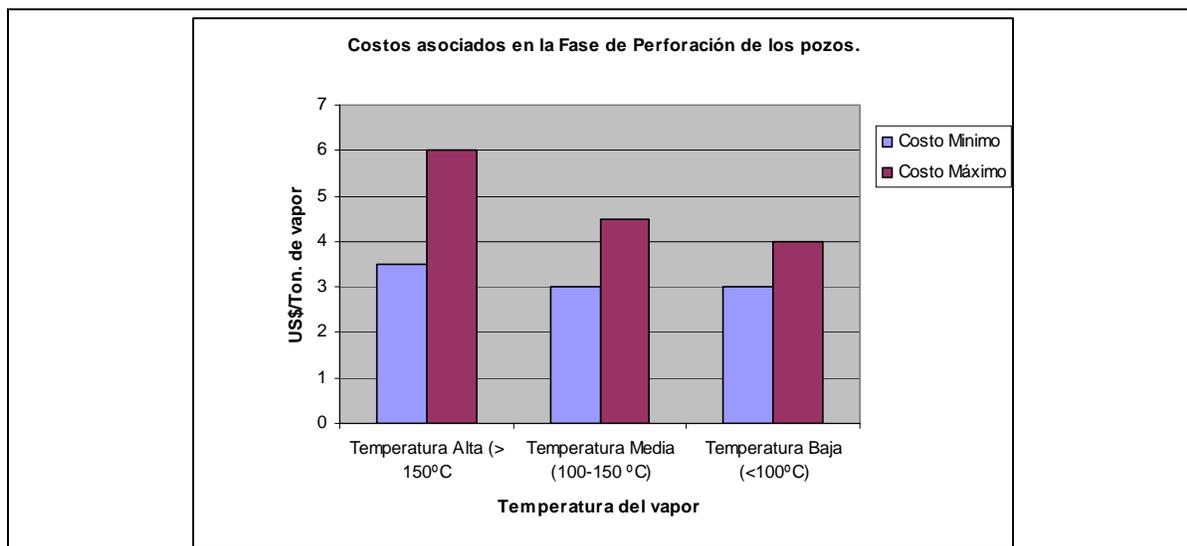


Figura N° 5.1: Costos asociados a la Fase de Perforación de los pozos.

Fuente: <http://www.worldbank.com>

Por otra parte, los costos de exploración no son lineales, ya que a mayor profundidad, los costos aumentan considerablemente debido a la mayor dureza del terreno conformado por piedras. (Ver Figura N° 5.2)

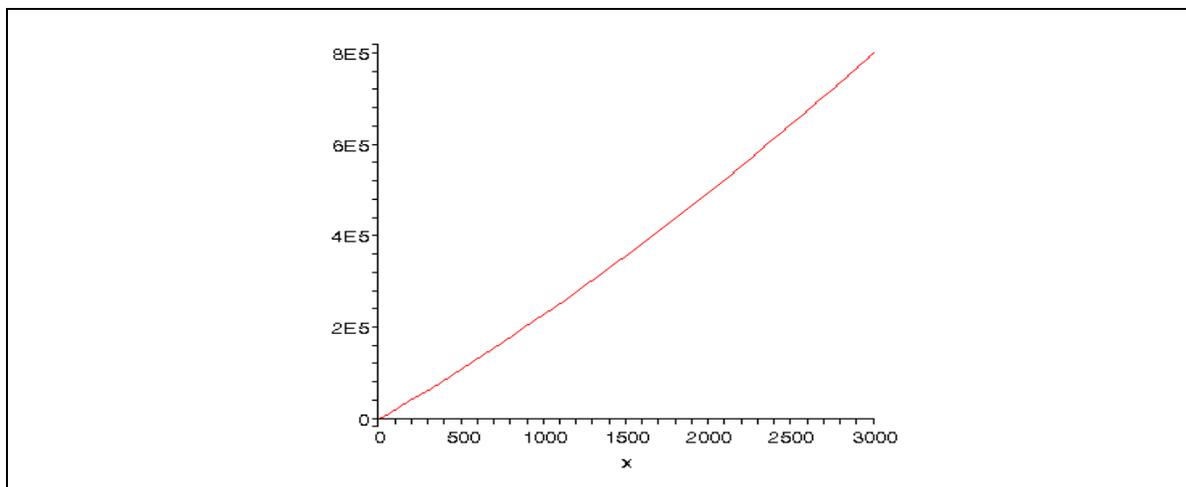


Figura N° 5.2: Costos de Exploración según profundidad de exploración.  
Fuente: Geothermal Energy Association.

### 5.3.2.2 Costos de la energía generada

Estos costos varían según el tamaño de la planta geotérmica, y dependen además de la calidad del yacimiento; como lo muestran la Tabla N° 5.2 y las Figuras N° 5.3 y 5.4.

Tabla N° 5.2: Costo unitario de la energía producida según tamaño de la planta geotérmica y la calidad del yacimiento.

|                                    | Costo unitario (US c/kW-h) Yacimiento de alta calidad | Costo unitario (US c/kW-h) Yacimiento de media calidad | Costo unitario (US c/kW-h) Yacimiento de baja calidad |
|------------------------------------|---|--|---|
| <b>Pequeñas Plantas (&lt;5 MW)</b> | 5.0-7.0   | 5.5-8.5  | 6.0-10.5  |
| <b>Plantas Medianas (5-30 MW)</b>  | 4.0-6.0   | 4.5-7  | No recomendable                                       |
| <b>Plantas Grandes (&gt;30 MW)</b> | 2.5-5.0   | 4.0-6.0  | No recomendable                                       |

Fuente: Geothermal Energy Association

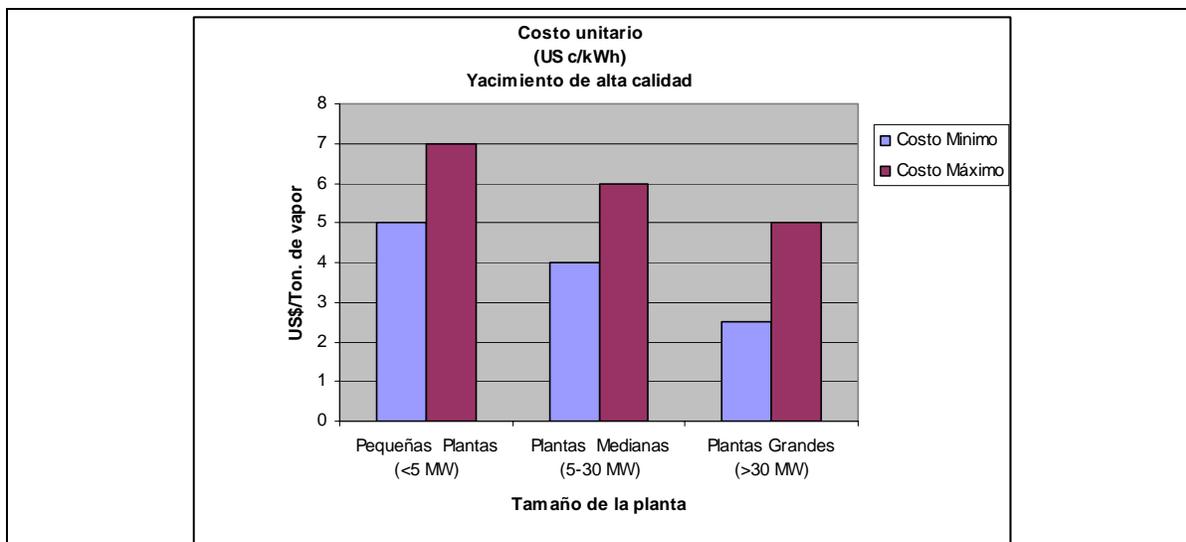


Figura N° 5.3: Costo unitario de la energía producida en yacimientos de alta calidad.  
Fuente: Geothermal Energy Association

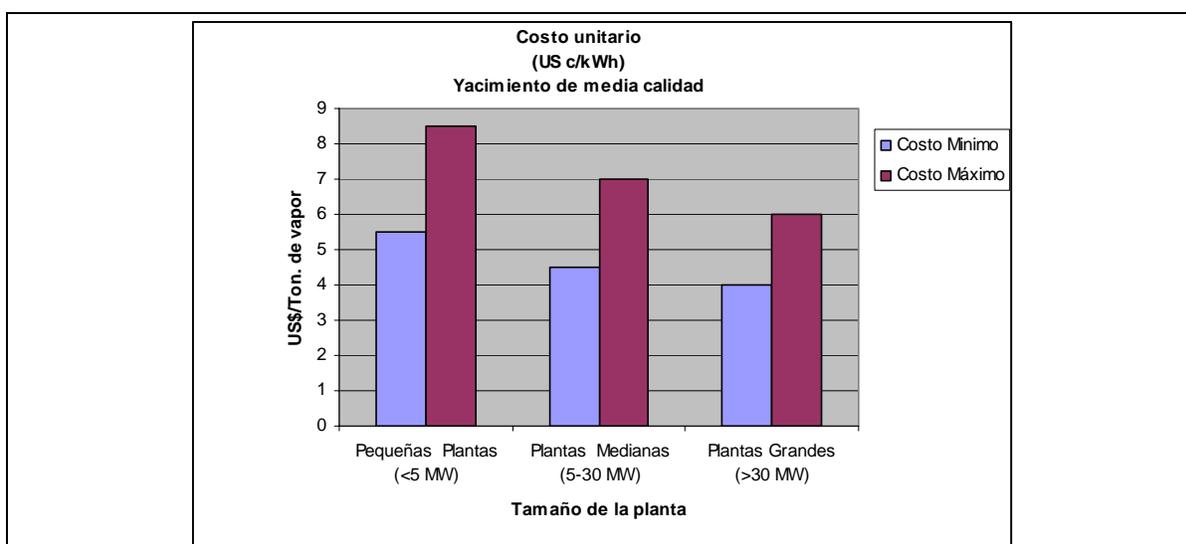


Figura N° 5.4: Costo unitario de la energía producida en yacimientos de media calidad.  
Fuente: Geothermal Energy Association.

### 5.3.2.3 Costos Directos de Capital

La Tabla N° 5.3 indica los costos directos de capital incurridos (US\$/KW) para centrales pequeñas, medianas y grandes que se han desarrollado en un alta, mediana y baja calidad del recurso energético.

Frecuentemente, el costo de capital de una planta geotérmica es mayor que el de una planta similar alimentada por combustibles convencionales. Contrariamente, la energía que acciona una planta geotérmica cuesta mucho menos que el combustible convencional, y su costo corresponde al costo de mantención de los elementos geotermales de la planta (vaporductos, válvulas, bombas, intercambiadores de calor, etc.). El mayor costo de capital debería recuperarse por el ahorro en costos de energía. Por lo tanto el sistema recurso-planta debería programarse para una duración suficiente como para amortizar el costo inicial y en lo posible para una duración mayor. (Dickson y Fanelli)

Tabla N° 5.3: Costos Directos de Capital (US\$/kW capacidad instalada).

| Tamaño de la planta                | Recurso de alta calidad  | Recurso de media calidad  |
|------------------------------------|--|---|
| <b>Plantas pequeñas (&lt;5 MW)</b> | Exploración : US\$ 400-800<br>Campo de Vapor: US\$ 100-200<br>Planta Geoter. : US\$ 1100-1300<br><b>Total : US\$ 1600-2300</b> | Exploración : US\$ 400-1000<br>Campo de Vapor: US\$ 300-600<br>Planta Geoter. : US\$ 1100-1400<br><b>Total : US\$ 1800-3000</b> |
| <b>Plantas medianas (5-30 MW)</b>  | Exploración : US\$ 250-400<br>Campo de Vapor: US\$ 200-500<br>Planta Geoter. : US\$ 850-1200<br><b>Total : US\$ 1300-2100</b>  | Exploración : US\$ 250-600<br>Campo de Vapor: US\$ 400-700<br>Planta Geoter. : US\$ 950-1200<br><b>Total : US\$ 1600-2500</b>   |
| <b>Plantas grandes (&gt;30 MW)</b> | Exploración : US\$ 100-200<br>Campo de Vapor: US\$ 300-450<br>Planta Geoter. : US\$ 750-1100<br><b>Total : US\$ 1150-1750</b>  | Exploración : US\$ 100-400<br>Campo de Vapor: US\$ 400-700<br>Planta Geoter. : US\$ 850-1100<br><b>Total : US\$ 1350-2200</b>   |

Fuente: Geothermal Energy Association

### 5.3.2.4 Costos Indirectos

Los costos indirectos varían significativamente dependiendo de la ubicación del sitio, su accesibilidad, el nivel de infraestructura y especificaciones de expropiación. Estos costos se calculan en base a tres categorías de localización de los proyectos.

**Localización A:** Donde los costos indirectos son entre el 5 y el 10% de los costos directos y depende de la cercanía a grandes ciudades. Con frecuencia, se ubican dentro de las ciudades más desarrolladas. Por Ejemplo: Santiago y sus alrededores.

**Localización B:** Donde los costos indirectos son entre el 10 y el 30% de los costos directos y depende la lejanía de las ciudades. Generalmente se localizan relativamente lejos de las ciudades. Por Ejemplo: Valparaíso.

**Localización C:** Donde los costos indirectos son entre el 30 y el 60% de los costos directos y depende también de la lejanía de las ciudades. En general, se ubican muy lejos de las ciudades, en sectores muy poco desarrollados. Por Ejemplo: Arica. (Geothermal Energy Association, 2005)

#### **5.3.2.5 Costos de Operación y Mantenimiento**

En la Tabla N° 5.4 se muestran los costos de operación y mantenimiento según el tamaño y potencia de la planta geotérmica, y según el campo de vapor.

En cuanto a la probable reducción de los costos de mantención y las paralizaciones, la complejidad técnica de la planta debería ser de un nivel accesible al personal técnico local o a los expertos que se tenga disponibles. (Dickson y Fanelli)

Tabla N° 5.4: Costos de operación y mantenimiento de una planta geotérmica.

|                              | O&M Costos (US c/KWh)<br>P. pequeñas (<5 MW) | O&M Costos (US c/KWh)<br>P. medianas (5-30 MW) | O&M Costos (US c/KWh)<br>P. grandes (>30 MW) |
|------------------------------|--|--|--|
| <b>Campo de vapor</b>        | 0.35-0.7                                     | 0.25-0.35                                      | 0.15-0.25                                    |
| <b>Potencia de la planta</b> | 0.45-0.7                                     | 0.35-0.45                                      | 0.25-0.45                                    |
| <b>Total</b>                 | <b>0.8-1.4</b>                               | <b>0.6-0.8</b>                                 | <b>0.4-0.7</b>                               |

Fuente: Geothermal Energy Association

Tabla N° 5.5: Costos comparativos de generación eléctrica.

| Tipo de Central \ Costos                | Geotérmica a vapor | Geotérmica binaria | Térmica a carbón | Ciclo combinado a gas natural | Hidráulica |
|---|--------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------|
| <b>Exploración y excavación US\$/kW</b> | 700                | 500                | 0                | 0                             | 0          |
| <b>Unitarios de inversión US\$/kW</b>   | 800                | 1600               | 1225             | 638                           | 1070       |
| <b>Operacionales US\$/kW-año</b>        | 100                | 100                | 183,08           | 231,79                        | 0          |
| <b>Factor de planta %</b>               | 65                 | 65                 | 85               | 90                            | 50         |
| <b>Vida útil años</b>                   | 20                 | 20                 | 30               | 25                            | 60         |

Fuente: [www.energy.ca.gov/reports/2004-06-08\\_700-04-006.pdf](http://www.energy.ca.gov/reports/2004-06-08_700-04-006.pdf)

### 5.3.3 COSTOS DE INSTALAR UNA PLANTA GEOTÉRMICA

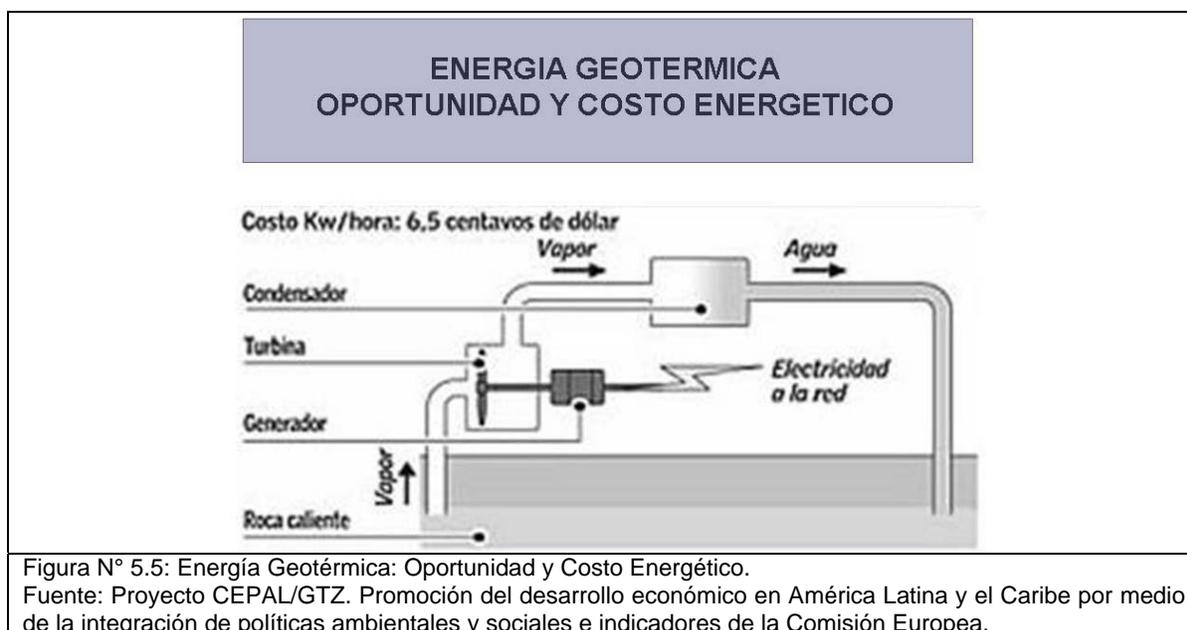
Es posible afirmar que los mayores costos de instalación de una central geotérmica los exige la primera etapa. En este proceso de exploración lo complejo es acertar a los primeros pozos, lo que desincentiva a inversionistas a arriesgarse a hacerlos.

En este sentido el desarrollo de la energía geotérmica es caro, pero cuando la planta está instalada y funcionando, es muy fácil de mantener y operar.

Por ejemplo, en una planta geotérmica de 50 MW para 500 mil habitantes la perforación de un pozo cuesta US \$ 2 millones, y se requieren mínimo 6 pozos. Entonces, una central de generación cuesta aproximadamente US \$ 50 millones, y en promedio, su instalación puede costar 84 millones de dólares. Y la generación de cada kilowatt bordea los 6,5 centavos de dólar. (Ver Figura N° 5.5)

De acuerdo a lo expuesto, la geotermia no es barata, sin embargo, actualmente a medida que suben de precio los recursos energéticos convencionales, más competitiva pasa a ser esta fuente que antes era cara, ya que no depende del precio del petróleo, sino de lo que existe en el subsuelo. Por la situación antes descrita, este sería el momento oportuno para desarrollar este recurso. (Hiriart, 2006)

Debido al incremento de la demanda energética y a los problemas de abastecimiento energético de gas, nuevas alternativas tales como las ERNC tienen cabida en el escenario energético nacional. Sin embargo, los costos de generación de las centrales hidroeléctricas y a gas siguen siendo menores. En el caso de las hidroeléctricas el costo de generación va de los 0 a 3 centavos de dólar por cada Kilowatt hora, mientras que en las centrales a gas es de 3,2 centavos de dólar.



Con respecto a la posibilidad de abaratar costos mediante los usos derivados de la generación de energía geotérmica, es posible disminuirlos hasta un 10 por ciento. En usos no eléctricos se puede desde secar madera, deshidratar frutas y cultivar hongos comestibles; hasta calefaccionar edificios y vender sales minerales. (Hiriart, 2006)

### 5.3.4 RIESGOS QUE IMPLICA EL DESARROLLO DE GENERACIÓN GEOTÉRMICA

#### 5.3.4.1 Riesgos de Exploración

Existe el riesgo de encontrar una fuente de calor que no sea útil para la explotación de la Energía Geotérmica. Sin embargo, una buena fuente de información e investigación previa sobre los potenciales lugares geotérmicos en una determinada región garantizan la efectividad de la explotación. (Ver Figura N° 5.6)

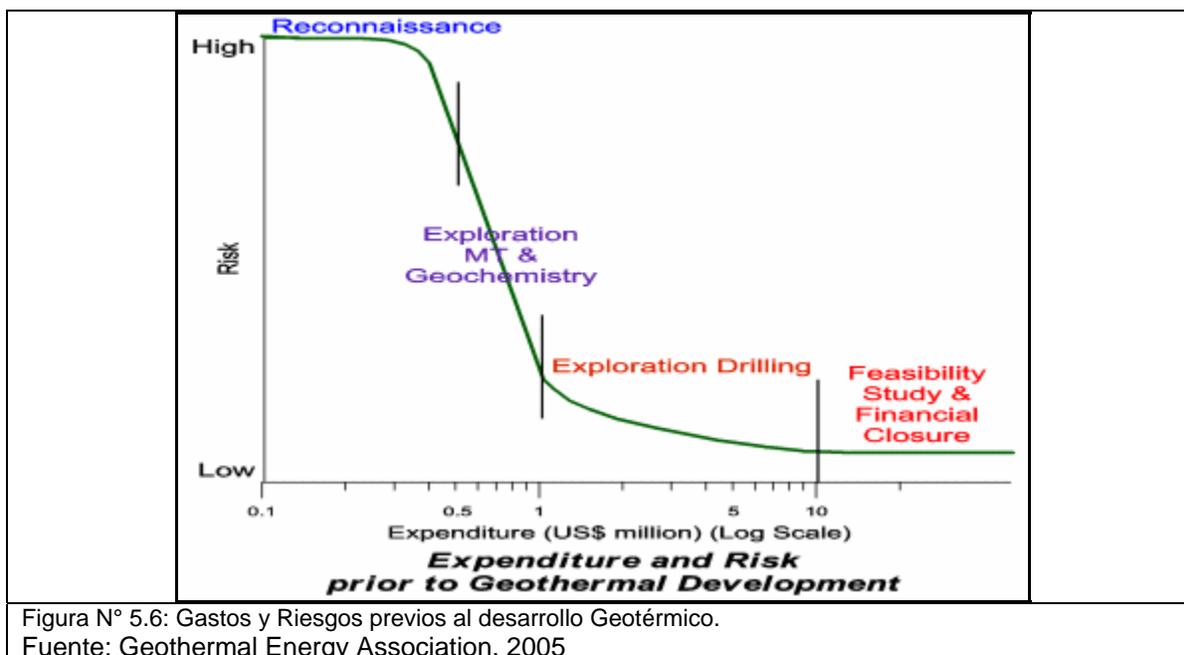
#### 5.3.4.2 Tamaño y Capacidad del Reservorio

El tamaño y la explotabilidad de un reservorio geotérmico, es otro limitante de riesgo asociado a una planta geotérmica. Un análisis completo del reservorio en un gran período y con una adecuada modelación computacional determina el éxito o fracaso de la explotación del recurso.

Un factor preponderante en el desarrollo de una planta geotérmica es el tamaño del recurso y su capacidad de producción. (Ver Figura N° 5.6)

#### 5.3.4.3 Riesgos políticos y económicos

Entre los principales están: cambios en la política del medio ambiente, cambio en el uso de la tierra, cambios en los incentivos para el desarrollo de energías renovables, y cambios en la asignación de recursos. (Ver Figura N° 5.6) (Geothermal Energy Association, 2005)



## 5.4 ANTECEDENTES DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA EN CHILE

Chile puede ser clasificado como pionero en la exploración de energía geotérmica a nivel mundial. Desde Principios de siglo ha existido interés por investigar y desarrollar industrialmente los recursos geotérmicos en Chile. En Antofagasta en 1908 se creó la primera sociedad privada que intentó explotar los Géiser del Tatio, iniciando unos años después perforaciones exploratorias con un equipo para sondajes proporcionado por la empresa italiana Larderello. Tras la perforación de dos pozos de 60 m de profundidad cada uno, uno de ellos estuvo activo con flujo de vapor, por 30 años. Las actividades desarrolladas en el Tatio fueron suspendidas en 1922 por problemas técnicos y económicos.

Por su parte, en Iquique entre los años 1920 y 1925 se solicitaron al Gobierno concesiones para explotar los géiseres de Puchuldiza, sin embargo no hay antecedentes acerca de las actividades realizadas en esa zona.

Más tarde, Investigadores de la Universidad de Chile realizaron estudios e informes esporádicos respecto al aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el país, los que lograron captar la atención de las autoridades de la época.

Para concretar este interés emergente, en 1954 el Gobierno de Chile solicitó al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (P.N.U.D.) estudiar la posibilidad de suscribir un convenio para investigar los recursos geotérmicos. (Bravo y Trujillo, 1980)

Luego de que expertos de Naciones Unidas en Chile aprobaron la viabilidad de la solicitud, en 1968 se firmó el convenio entre el Gobierno de Chile y el PNUD, mediante el cual la CORFO creó el Comité para el Aprovechamiento de la Energía Geotérmica cuya función fundamental era "programar, dirigir y realizar investigaciones y trabajos en las zonas que existan recursos geotérmicos, encaminados a establecer las posibilidades más adecuadas de explotación de los mismos". En una primera etapa, las exploraciones se restringieron a las Regiones de Tarapacá y Antofagasta por ser éstas las más carentes en recursos energéticos e hídricos del país. Más tarde, las necesidades de energía eléctrica fueron suplidas mediante centrales térmicas convencionales; ya que además de la energía, estaba el obstáculo de la falta de agua para cualquier expansión industrial o minera en la región. (Lahsen, 2000)

El denominado Proyecto Geotérmico a cargo de la CORFO y con la asesoría de las Naciones Unidas, desarrolló hasta 1976 varias prospecciones geotérmicas principalmente en las zonas de Puchuldiza y el Tatio. Entre los años 1969 y 1972 se perforaron 6 pozos de exploración con un promedio de 600 m de profundidad, en los cuales se registró una temperatura promedio de 240°C. Las actividades continuaron entre los años 1973 y 1974, con la perforación de 7 pozos de desarrollo con profundidades entre 863 y 1.821 m, destinados a identificar y caracterizar la presencia del recurso geotérmico. En 4 de ellos no se detectó la presencia de fluidos, mientras que en los 3 restantes se controlaron temperaturas de 250 a 260° C, en niveles ubicados entre los 750 y 900 m de profundidad.

El año 1974, con la asistencia técnica del Reino Unido, se instaló en la zona de El Tatio una planta desalinizadora de agua. En 1975, la firma consultora italiana

*Electroconsult* realizó un estudio de factibilidad para la instalación de una planta de generación eléctrica. El potencial establecido de sólo 15 MW, fue declarado poco atractivo para concretar el proyecto.

Posteriormente, entre los años 1974 y 1977, las actividades exploratorias se extendieron hacia Puchuldiza, Pampa Lirima y Surire, al interior de la I Región. En el primer sector se perforaron 6 pozos de exploración, con profundidades de 600 a 900 m, en los cuales se registraron temperaturas de 170°C, catalogadas como insuficientes para la generación de energía eléctrica.

En 1980 en la zona de Puchuldiza, con fondos regionales y gracias al apoyo de JICA (*Japan International Cooperation Agency*), se perforó un pozo de 1.150 m de profundidad, con un registro de temperatura media de 200°C.

En el sector de las Termas de Chillán, en 1995 se perforó un pozo de 278 m que permitió detectar la existencia de una gradiente geotérmica de 15°C por cada 100 m de profundidad. Para una temperatura cercana a los 200°C se calculó un potencial de generación eléctrica de aproximadamente 2,4 MW. En aquella ocasión los recursos geotérmicos hallados no lograron captar el interés de los inversionistas debido a factores tales como el inadecuado conocimiento del recurso; grandes inversiones iniciales con elevado riesgo; existencia de suministro de energía de maneras convencionales (hidráulica, carbón, gas y petróleo) y, carencia de un confiable y apropiado marco legal que garantizara el derecho de propiedad del recurso.

Por las razones antes mencionadas, entre 1982 y 2000, no hubo interés real por realizar actividades destinadas al aprovechamiento de la energía geotérmica en Chile. La efectiva oferta de energía eléctrica a partir de petróleo, carbón o gas natural, basado en los bajos precios internacionales del petróleo, y en el gas natural proveniente de Argentina; explicarían el comportamiento de los agentes inversores en ese periodo. Por otra parte, se ha estimado que la carencia de efectivas regulaciones y normativas administrativas y legales, vinculadas con la instauración de garantías para la adjudicación de concesiones de exploración y explotación de energía geotérmica; habría sido un factor clave en el desinterés de los inversionistas. (Hauser, 2006)

Además de los estudios realizados a través del proyecto CORFO-PNUD, el conocimiento que actualmente se tiene acerca de las posibilidades de energía geotérmica de Chile se basa en los estudios volcanológicos y geoquímicos de numerosas áreas termales, realizados por investigadores del Departamento de Geología de la Universidad de Chile y del SERNAGEOMIN. (Lahsen, 2000)

## **5.5 POTENCIAL RECURSOS GEOTÉRMICOS**

Chile está ubicado en el denominado "Cinturón de Fuego del Pacífico", zona del planeta que se caracteriza por su gran actividad sísmica y volcánica, siendo esta última la característica más habitual exhibida por la historia geológica del país en los últimos 130 millones de años. Como consecuencia de esta presencia volcánica, (actualmente existen 50 volcanes activos en la cordillera de Los Andes) existen varias zonas con actividad geotermal. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

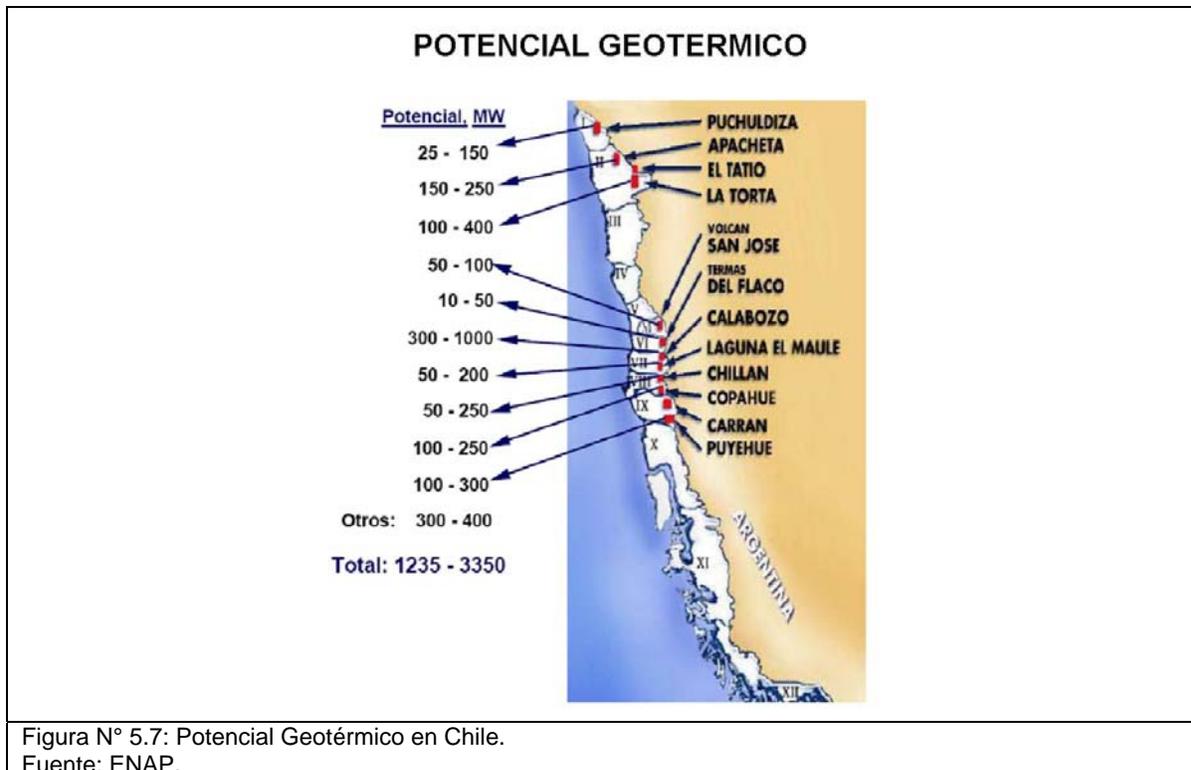
Resultados preliminares sobre algunas zonas (algunas de las cuales tienen concesiones de exploración geotérmica) han estimado el potencial útil para generación eléctrica entre: 1.235- 3.350 MW. (Aravena, 2006) (Ver Figura N° 5.7)

En relación a este tema, Roberto Román, experto en el área de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile ha reconocido que en Chile no se están utilizando estos recursos, y ha afirmado que el país tiene el mejor potencial geotérmico del planeta, que equivaldría a 16 mil MW a lo largo de Chile. De esta forma, gracias al uso de esta energía se podría duplicar la generación eléctrica, considerando que el sistema interconectado central tiene 10 mil MW. (Definen zonas de Chile mayor potencial para generar energías renovables, 2007)

Por su parte, Gerardo Hiriart, ingeniero naval que trabaja hace más de 25 años para el gobierno mexicano en el desarrollo de proyectos geotérmicos, en reciente visita a Chile señaló que las realidades de Chile y México son muy parecidas. Esta afirmación reviste especial importancia para el país ya que México ocupa el tercer

lugar mundial en la generación de energía eléctrica por medio de plantas geotérmicas, con 991 MW, superado sólo por Estados Unidos y Filipinas.

Para Hiriart, en Chile las potencialidades son enormes debido a la existencia de muchos volcanes, y la generación de energía a través de plantas geotérmicas podría llegar a 1.000 MW, lo que representaría entre un 10 y un 20 por ciento de la energía que el país necesita. (Hiriart, 2006)



### 5.5.1 ZONAS GEOTÉRMICAS EN EL NORTE DE CHILE

Se han detectado alrededor de 90 zonas termales a lo largo de esta área. En muchos de ellos se han realizado reconocimientos geológicos y geoquímicos, y solamente las zonas geotermales de Apacheta, Puchuldiza y El Tatio han sido sistemáticamente prospectadas mediante estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos, y en las dos últimas se han perforado pozos exploratorios.

En cuanto al potencial estimado para estas tres áreas, va desde 300 a 800 MW.

### 5.5.2 ZONAS GEOTÉRMICAS EN EL SUR DE CHILE

Se han realizado reconocimientos geológicos y geoquímicos preliminares en muchas áreas de las más de 200 existentes en esta parte del país.

En cuanto a la exploración geotermal sistemática, esta sólo se ha desarrollado en las áreas de Calabozos, Puyehue-Cordón Caulle y Nevados de Chillán donde un pozo exploratorio a 274 m captó fluidos a 198°C.

Con respecto al potencial estimado para estas tres zonas, va desde unos 400 a 1500 MW. (Lahsen, 2006)

En relación al potencial geotérmico, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) lleva un catastro oficial de 275 manifestaciones termales en Chile, ubicados principalmente en la Primera y Décima regiones; las que pueden tener un potencial geotérmico aprovechable energéticamente. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007) (Ver Tabla N° 5.6)

Tabla N° 5.6: Catastro de Manifestaciones Termales en Chile.

| Región          | Comuna               | Sitios | Región            | Comuna        | Sitios |
|-----------------|----------------------|--------|-------------------|---------------|--------|
| I<br>Total: 23  | Putre                | 5      | VII<br>Total: 6   | Curicó        | 3      |
|                 | Huara                | 1      |                   | Molina        | 1      |
|                 | Camiña               | 1      |                   | San Clemente  | 1      |
|                 | Colchane             | 6      |                   | Linares       | 2      |
|                 | Pica                 | 9      |                   | Longaví       | 1      |
|                 | Pozo Almonte         | 1      |                   | Parral        | 1      |
| II<br>Total: 13 | Ollague              | 1      | VIII<br>Total: 10 | San Fabián    | 1      |
|                 | Calama               | 3      |                   | Coihueco      | 1      |
|                 | San Pedro de Atacama | 8      |                   | Santa Bárbara | 7      |
|                 | Antofagasta          | 1      |                   | Quilaco       | 1      |
| III<br>Total: 5 | Diego de Almagro     | 2      | IX<br>Total: 13   | Curacautín    | 2      |
|                 | Copiapó              | 3      |                   | Melipeuco     | 1      |
|                 | Tierra Amarilla      | 2      |                   | Curarrehue    | 3      |
| IV<br>Total: 2  | Vicuña               | 1      | X                 | Pucón         | 7      |
|                 | Combarbalá           | 1      |                   | Lanco         | 2      |

|                           |                   |   |  |              |   |
|---------------------------|-------------------|---|--|--------------|---|
|                           | San Esteban       | 1 |  | Panguipulli  | 2 |
| Metropolitana<br>Total: 7 | Colina            | 1 |  | Puyehue      | 2 |
|                           | Las Condes        | 1 |  | Puerto Varas | 3 |
|                           | San José de Maipo | 5 |  | Cochamó      | 3 |
| VI<br>Total: 2            | Cauquenes         | 1 |  | Chaitén      | 6 |
|                           | San Fernando      | 1 |  | Hualaihué    | 4 |
| XI<br>Total: 6            | Cisnes            | 4 |  |              |   |
|                           | Río Ibañez        | 2 |  |              |   |

Fuente: CNE (Comisión Nacional de Energía)

## 5.6 ESCENARIO PARA EL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA EN CHILE

### 5.6.1 ANTECEDENTES

Hacia 1983 la autoridad quería incentivar una política que favoreciera la participación de instituciones privadas en el desarrollo de la actividad geotérmica, pero lamentablemente los inversionistas privados no tenían un respaldo financiero. Ante esta realidad, una alternativa más atractiva y concreta parecía ser nuevamente la promoción de campañas de exploración geotérmica con el respaldo y auspicio de entidades internacionales, como una manera de dar a conocer la potencialidad existente.

Por otra parte, hasta esa fecha (1983) se habían identificado factores que limitaban el desarrollo de la actividad geotermal en el país, y que son los siguientes:

- a) Altos Costos de Perforación de pozos exploratorios y/o de producción

Este hecho limitaba el interés del sector privado por efectuar inversiones.

- b) Ubicación de los Campos Geotérmicos

Los campos geotérmicos estudiados hasta 1983 están situados en la Cordillera Andina (regiones de Tarapacá y Antofagasta), lo cual significaba

alturas cercanas a los 4.000 metros sobre el nivel del mar; condiciones climáticas adversas, grandes distancias a centros poblados de envergadura, caminos deficientes, etc. Todos estos factores relacionados con la ubicación de los recursos geotérmicos se transformaron en problemas para un desarrollo más sostenido de los trabajos geotérmicos.

c) Discontinuidad de la Investigación

Por razones económicas, los estudios acerca de la geotermia en Chile habían experimentado grandes fluctuaciones en su historia, lo que habría impedido alcanzar un mejor nivel de desarrollo. Hasta 1983 para el Gobierno no era una prioridad invertir en este tipo de estudios energéticos, por lo que se barajaba la opción de solicitar la colaboración de organismos internacionales para adquirir líneas de crédito y así disponer de financiamiento en todas las etapas de los proyectos geotérmicos (reconocimiento, factibilidad, desarrollo, explotación) evitando discontinuidades en sus desarrollos.

d) Necesidad de Disponer de Personal Capacitado

En esa época se hacía muy necesario contar con un grupo de técnicos capacitados en todos los aspectos de la geotermia, tales como expertos a nivel de postgrado en universidades extranjeras, para lo cual se requería que existieran proyectos concretos de geotermia encabezados por organismos competentes y con metodología de trabajo; de manera de incentivar este tipo de especializaciones.

e) Necesidad de Disponer de Centros Especializados de Análisis de datos Geotérmicos

Ante la carencia de expertos también era necesaria la creación de un centro u organismo que realizara análisis e interpretaciones de datos geotérmicos, con el fin de asesorar en sus propios proyectos a los profesionales que trabajaban en este campo.

En cuanto a los Recursos Humanos disponibles hasta los 80's, había una cantidad limitada de profesionales relacionados con el tema de la geotermia; 20 geólogos y 10 ingenieros de distintas especialidades habían trabajado o participado en proyectos o estudios específicos de geotermia.

A estos profesionales se sumaron los expertos de Nueva Zelanda, Irlanda, Inglaterra, Japón e Italia, que viajaron a Chile a través del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1969-1976).

Además de los profesionales, alrededor de 120 personas trabajaron en los campos geotérmicos de El Tatio y Puchuldiza, entre los años 1970 y 1974. (Díaz, 1983)

## 5.6.2 ESCENARIO ACTUAL PARA EL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA EN CHILE

A pesar de que se estima que la energía geotérmica es abundante a lo largo de todo el territorio nacional (1.235 – 3.350 MW útiles), no ha sido explorada en profundidad, ni utilizada como fuente para generar energía eléctrica y sólo ha sido usada hasta ahora con fines medicinales y turísticos. (Jara, 2006)

Para la utilización de la energía geotérmica con fines prácticos se requiere la conjunción de una serie de factores: geológicos (o físicos), tecnológicos, económicos, sociales e incluso políticos, los cuales condicionan la posibilidad de explotar esta energía en una determinada zona. (Lahsen, 2000)

En este sentido, el análisis de los distintos factores que conforman el escenario existente para el desarrollo de los recursos geotérmicos en Chile se ha basado en lo establecido en el programa “Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe”, realizado en 1996 por la CEPAL (Naciones Unidas) y la Comisión Europea.

Tal como se estableció en los objetivos específicos de la Fase I del programa geotérmico denominado “Proyecto Cepal/CE”; se ha estimado la conveniencia de aplicar esta perspectiva de análisis para el caso de Chile, y así realizar un

diagnostico sectorial de la situación de la Geotermia, identificando los factores que condicionan, promueven o restringen el aprovechamiento integral de los recursos geotérmicos a nivel nacional.

De esta manera, la evaluación de la capacidad de gestión de los recursos geotérmicos, se ha desarrollado según un “enfoque sistémico”, es decir considerando las interrelaciones existentes entre las dimensiones, las que estructuran una “Matriz de Gestión” del recurso.

#### **5.6.2.1 Dimensión Política:**

Rol de la geotermia asignado por el gobierno en la reestructuración energética del país.

#### **5.6.2.2 Dimensión Jurídica:**

Mecanismos que regulan las condiciones de acceso y uso de los recursos geotérmicos.

#### **5.6.2.3 Dimensión Económica:**

Restricciones y/o incentivos económicos, nivel de gasto público para el desarrollo de recursos geotérmicos y papel asignado a la inversión privada.

#### **5.6.2.4 Dimensión Física:**

Grado de información disponible y calidad técnica del inventario nacional de recursos geotérmicos.

#### **5.6.2.5 Dimensión Ambiental:**

Regulaciones vinculadas al conocimiento, conservación y uso de los recursos energéticos.

#### **5.6.2.6 Dimensión Tecnológica:**

Capacidad de las organizaciones de Investigación y desarrollo de los recurso; y tipo y nivel de transferencia de tecnología.

#### **5.6.2.7 Dimensión Organizacional:**

Atribuciones y funciones conferidas a las instituciones encargadas de la gestión de los recursos geotérmicos.

#### **5.6.2.8 Dimensión Educacional:**

Dotación y calificación de los recursos humanos incorporados al marco institucional vigente; el tipo y orientación de los programas de capacitación existentes y la articulación entre la gestión de las fuentes geotérmicas y los medios académicos.

#### **5.6.2.9 Dimensión Social:**

Papel asignado a la geotermia en las estrategias y programas de energización con fines de equidad social, así como el grado de participación de los actores involucrados.

#### **5.6.2.10 Dimensión Internacional:**

Cooperación técnica y financiera y efectividad de sus resultados, así como las capacidades nacionales para diseñar acciones de cooperación horizontal.

(Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe. 2000)

### **5.6.3 DESARROLLO DE LAS DIMENSIONES:**

#### **5.6.3.1 Dimensión Política:**

Desde el año 2000 el gobierno chileno está dando un impulso a la explotación de los recursos geotérmicos. Esa promoción surge el mismo año de promulgación de

la ley sobre “Concesiones de Energía Geotérmica”, que estableció un marco regulatorio para la exploración y explotación de la geotermia. (Ver punto 5.6.3.2 Dimensión Jurídica, página 96) (Coviello e Hiriart, 2006)

### **Política de Desarrollo Geotérmico**

El gobierno ha definido una Política de Desarrollo Geotérmico, basándose en que la geotermia es funcional al cumplimiento de la meta de Gobierno y en que su desarrollo contribuye a la seguridad energética.

Acorde con lo anterior, para el gobierno la geotermia debe ser respetuosa del medio ambiente; estar integrada a las comunidades, y ser compatible con otras actividades económicas.

La metodología definida señala que el desarrollo de la geotermia exige un trabajo multisectorial e integrado por actores públicos y privados.

Para poner en práctica esta política, se han especificado acciones a implementar en tres etapas. Primero se ha dado prioridad a la divulgación de geotermia y sensibilización de autoridades y organizaciones ciudadanas, al fortalecimiento institucional, y al mejoramiento del conocimiento sobre aspectos ambientales.

En segundo lugar se ha planificado el perfeccionamiento Marco Regulatorio (Ley y Reglamento) con el fin de reducir espacios de especulación, mejorar el sistema de concesiones, y fortalecer el rol subsidiario del Estado en la exploración geotérmica.

Se han definido también acciones que buscan la disminución de barreras a la inversión (trabajo conjunto con la Cooperación del Gobierno Alemán), mediante una línea de mejoramiento de información de la geotermia; el desarrollo de instrumentos para disminuir el riesgo exploratorio en geotermia; la creación de nuevos instrumentos de fomento para reducir los riesgos de tecnologías innovadoras en Chile; y finalmente un mayor seguimiento de las concesiones otorgadas. (Aravena, 2006)

Como ya se ha señalado, en el marco de su política de seguridad energética que incluye el desarrollo de Energías Renovables No Convencionales ERNC; el

gobierno ha anunciado diversas medidas que buscan favorecer el surgimiento de iniciativas geotérmicas, entre otras. Entre estas acciones están la realización de un Catastro Nacional de Zonas con Potencial Geotérmico; el lanzamiento del Tercer Concurso CORFO-Comisión Nacional de Energía (CNE) para co-financiar proyectos de ERNC; el próximo envío de un proyecto de ley al Congreso para el fomento de las ERNC; y la publicación de Guías Ambientales para inversionistas interesados en desarrollar proyectos de este tipo. (Poniachik, 2007)

### **5.6.3.2 Dimensión Jurídica: Legislación Geotérmica en Chile**

Los importantes avances tecnológicos ocurridos en los últimos años en el tema del aprovechamiento de la energía geotérmica a nivel mundial han ayudado a cambiar la situación de desinterés en el desarrollo de esa energía en Chile.

El gobierno chileno ha logrado generar y obtener la aprobación del parlamento de bases legales, técnicas y administrativas, (leyes, decretos, reglamentos) necesarias para respaldar las distintas modalidades asociadas con el derecho de propiedad, respecto de las concesiones de exploración y explotación. (Hauser, 2006)

De esta manera, en 1999, y luego de 9 años de discusión en el Congreso, se aprobó la Ley Nº 19.657 "Sobre Concesiones De Energía Geotérmica". Dicha ley señala que la energía geotérmica cualquiera sea el lugar, forma o condiciones en que se manifieste o exista en el territorio nacional, es un bien del Estado, susceptible de ser explorada y explotada, previo otorgamiento de una concesión por parte del Estado. Lo anterior se basa en que si el Estado es dueño de toda la energía geotérmica, alguien debe explorarla, evaluarla y explotarla comercialmente.

Mediante esta ley se definen los reglamentos que regulan la participación de empresas privadas en las actividades de exploración y explotación de los recursos geotérmicos, excluyendo las aguas termales utilizadas para fines sanitarios, turísticos o de esparcimiento.

Por otra parte, esta ley reglamenta las relaciones entre los concesionarios, el Estado, los dueños del terreno superficial, los titulares de pertenencias mineras y

las partes de los contratos de operación petrolera o empresas autorizadas por ley para la exploración y explotación de hidrocarburos, y los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas.

La ley establece que pueden otorgarse concesiones de exploración o explotación. Para la primera, la vigencia es de 2 años prorrogables por dos adicionales, y para la segunda; es indefinida si se explota la energía. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007) (Ver Tabla N° 5.7)

Tabla N° 5.7: Características de las Concesiones de Exploración y Explotación.

| <b>Característica</b>               | <b>Exploración</b>  | <b>Explotación</b>  |
|-------------------------------------|---|---|
| Superficie máxima                   | 100.000 hectáreas   | 20.000 hectáreas  |
| Duración                            | 2 años prorrogables a 2 más                                 | Indefinida  |
| Amparo o garantía                   | No tiene  | Patente Anual   |
| Extinción                           | Caducidad de período<br>Renuncia                            | No pago de patente<br>No desarrollar la explotación<br>Renuncia |
| Titular                             | Persona natural chilena<br>Persona jurídica                 | Persona natural chilena<br>Persona jurídica                     |
| Patrimonio o capital mínimo exigido | 5.000 UF Personas Naturales<br>10.000 UF Personas Jurídicas | 5.000 UF Personas Naturales<br>10.000 UF Personas Jurídicas     |
| Método de asignación                | Directa<br>Licitación: obligatoria para fuentes probables.  | Directa<br>Licitación: obligatoria para fuentes probables       |

Fuente: CNE (Comisión Nacional de Energía).

El Ministerio de Minería es el encargado de la aplicación, control y cumplimiento de la Ley y sus reglamentos. Hasta abril de 2004, se han otorgado 13 concesiones

para exploración geotérmica. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007) (Ver Tabla N° 5.8)

Tabla N° 5.8: Concesiones de exploración geotérmica vigentes en Chile a abril de 2004.

| Nombre              | Región    | Superficie (ha) | Concesionario                 |
|---------------------|-----------|-----------------|-------------------------------|
| Calabozo            | VII       | 75.000          | Empresa Nacional de Geotermia |
| Calabozo II         | VII       | 5.600           | Empresa Nacional de Geotermia |
| Calabozo III        | VII       | 12.600          | Empresa Nacional de Geotermia |
| Laguna del Maule    | VII       | 60.000          | Universidad de Chile          |
| Chillán             | VIII      | 34.200          | Empresa Nacional de Geotermia |
| Tripán              | IX        | 4.200           | Geotérmica del Pacífico       |
| San Gregorio        | VIII y IX | 9.600           | Geotérmica del Pacífico       |
| Puyehue – Carrán I  | X         | 28.000          | Universidad de Chile          |
| Puyehue – Carrán II | X         | 12.600          | Universidad de Chile          |
| Carrán-Los Venados  | X         | 12.600          | Universidad de Chile          |
| Rollizos            | X         | 260             | Sr. Samuel Santa Cruz Hudson  |

Fuente: CNE (Comisión Nacional de Energía).

### 5.6.3.3 Dimensión Económica:

Como ya se mencionó en el capítulo 4, el gobierno a través de la Corporación de Fomento (CORFO) y CNE (Comisión Nacional de Energía) mantiene vigente un concurso de apoyo a las ERNC que incluye los proyectos geotérmicos, llamado “Promoción y atracción de inversiones para la generación de energías a partir de fuentes renovables”, que busca mejorar las condiciones iniciales para el desarrollo de energías alternativas, y generar mayor confianza y conocimiento en los inversionistas no tradicionales.

Así, mediante recursos financieros es posible co-financiar por ejemplo Estudios de Preinversión de proyectos geotérmicos en sus distintas etapas incluyendo el reconocimiento del recurso energético, los estudios de ingeniería, la evaluación económica y el impacto ambiental, entre otras. (Bravo, 2005)

En la tercera versión del concurso realizada el presente año, se aumentó en un 20% el monto máximo de asignación, disponiendo de más de US\$ 60 mil por cada proyecto.

Estos fondos adicionales proporcionan créditos de largo plazo con tasas de interés, periodos de gracia y plazos de amortización únicos en el mercado local. (Corporación Nacional de Fomento, CORFO, 2007)

En cuanto al gasto público destinado al desarrollo de los recursos geotérmicos, el gobierno, a través del Ministerio de Minería y del SERNAGEOMIN llevará a cabo un Catastro Nacional de Zonas con Potencial Geotérmico, el cual actualizará la información sobre manifestaciones termales y aportará información técnica (geológica, hidroquímica, tectónica y geofísica) de áreas para el desarrollo de proyectos de inversión geotérmica. (Ver punto 5.6.2.7 Dimensión Organizacional).

Este proyecto que se inicia el presente año y concluye el 2009 contempla una inversión de \$532 millones financiados por el Ministerio de Minería en sus presupuestos de los años 2007, 2008 y 2009. (Poniachik, 2007)

#### **5.6.3.4 Dimensión Física:**

El Servicio Nacional de Geología y Minería realizó un catastro de manifestaciones termales en Chile, estableciendo las zonas que pueden tener un potencial geotérmico aprovechable energéticamente. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

Entre los factores geológicos o físicos necesarios para el aprovechamiento energético de los recursos geotérmicos, es necesario considerar la distribución de la temperatura en profundidad, la permeabilidad de las rocas, el estado físico (agua o vapor) de los fluidos, el factor de recuperación de los mismos y la profundidad a la cual las perforaciones podrían captarlos. (Lahsen, 2000)

Si bien las zonas con potencial geotérmico han sido identificadas, el insuficiente conocimiento geológico básico de las áreas geotermales constituye una desventaja para el desarrollo y utilización de la energía geotérmica en Chile. (Lahsen, 2006)

### **5.6.3.5 Dimensión Ambiental:**

La Geotermia es un recurso renovable dependiendo de su utilización, esto es, si el agua-vapor extraída de la tierra es devuelta como agua fría y de manera apropiada.

Además, los recursos geotérmicos, que no dependen de fluctuaciones climáticas; provocan un escaso impacto en el paisaje y una mínima contaminación ambiental. (Lahsen, 2006). La geotermia es una energía limpia que significa una baja emisión de CO<sub>2</sub>.

Según establece el Protocolo de Kyoto, la geotermia es una de las formas más benignas para la generación de electricidad, por la gran cantidad de emisiones de gases que se evitan al utilizar esta fuente renovable. (Desarrollo de la Energía Geotérmica en el Sur de Chile, 2006)

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos en Chile, no tendría efectos nocivos en el medio ambiente que pudieran obstaculizar la aplicación de proyectos.

Entre las acciones a realizar anunciadas por el gobierno este año 2007 para fomentar el desarrollo de las ERNC, incluida la energía geotérmica; están las Guías ambientales para inversionistas, que corresponden a tres publicaciones editadas en conjunto por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Comisión Nacional de Medio Ambiente. Estos manuales pretenden dar a conocer los criterios que deben incluirse en los estudios y declaraciones de impacto ambiental para proyectos de generación eólica, minihidráulica, biomasa y geotermia, y que tienen como fin facilitar las inversiones en ERNC. (Poniachik, 2007)

### **5.6.3.6 Dimensión Tecnológica:**

En el caso de la geotermia, los factores tecnológicos se relacionan con la perforación de pozos y extracción de los fluidos y con su posterior transporte y utilización. (Lahsen, 2000)

En Chile, debido a que no ha habido un desarrollo sistemático de los recursos geotérmicos en los últimos años, no se ha utilizado tecnología ya desarrollada y

probada con éxito en otros países que generan electricidad a partir de energía geotérmica. (Jara, 2006)

Actualmente, la tecnología está disponible, y desde los noventa se encuentra más asequible debido a la disminución de los costos de la tecnología de conversión de energía geotérmica a eléctrica. (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

#### **5.6.3.7 Dimensión Organizacional:**

En Chile existe el Servicio Nacional de Minería SERNAGEOMIN, que es una institución dependiente del gobierno, y que tiene como funciones la elaboración y difusión de la información vinculada con la conformación Geológica del territorio nacional; la creación de la Carta Geológica de Chile a nivel básico y temático; y la mantención y difusión de información de los factores geológicos que condicionan el almacenamiento, escurrimiento y conservación de las aguas, vapores y gases subterráneos en el territorio nacional.

El Sernageomin ha realizado los siguientes aportes en información de fuentes termales: Catastro y caracterización de las fuentes de aguas minerales y termales de Chile, Fuentes de Aguas Termales de la Cordillera Andina del Centro Sur de Chile, y Mapa de Fuentes Termales de Chile. Todos estos estudios han permitido a este organismo elaborar un Catastro de fuentes probables (Cartagena, 2007)

Además, el gobierno, a través de un estudio geológico a cargo del Ministerio de Minería y del Sernageomin, realizará un Catastro Nacional de Zonas con Potencial Geotérmico. Dicho estudio incluye la actualización de la información existente sobre fuentes termales y la generación de información técnica (geológica, hidroquímica, tectónica y geofísica) de zonas con potencial interés para el desarrollo de proyectos de inversión geotérmica.

La iniciativa se ha visto reforzada por la experiencia internacional donde países con características similares de potencial geotérmico tales como México, Estados Unidos, Nueva Zelanda e Indonesia, ya están generando electricidad a través de esta tecnología.

El proyecto, de tres años de duración (2007-2009), entregará resultados parciales anuales, y los informes incluirán “mapas geotérmicos” con detalles técnicos de áreas específicas no concesionadas; información geológica, hidroquímica y geofísica; y modelos conceptuales geotérmicos de estas zonas. De esta forma, el 2009 se contaría con un catastro nacional de fuentes termales (con datos de ubicación exacta, temperatura, Ph, conductividad, sólidos disueltos, entre otra información) y de zonas con potencial geotérmico, lo que constituirá una base de datos pública con toda la información del país. (Poniachik, 2007)

#### **5.6.3.8 Dimensión Educativa:**

Existen iniciativas académicas tendientes a enriquecer los conocimientos y la experiencia respecto al aprovechamiento de los recursos geotérmicos.

El 2003, la Universidad de Chile a través de su Área de Energía del Departamento de Ingeniería Eléctrica, y por encargo de la CNE, realizó un estudio denominado "Simulación Preliminar de Desempeño Operacional y Comercial de Centrales de Generación Eléctricas Geotérmicas y Eólicas", que constituyó un análisis operacional y económico de posibles proyectos de generación eléctrica operando en los sistemas eléctricos nacionales (Comisión Nacional de Energía CNE, 2007)

Por su parte, el Departamento de Geología de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), ha estudiado el potencial geotérmico de la zona norte y centro-sur y ha estimado que el potencial de utilización de energía geotérmica en las I y II regiones es para generación eléctrica, pero sólo para el abastecimiento de zonas rurales próximas a la fuente termal. En cuanto a las zonas centro y sur del país ha afirmado que existen diversos campos geotermales que potencialmente pueden usarse para abastecer centros de consumo o conectarse a la red de distribución. (Jara, 2006)

Con respecto a la formación de profesionales especializados en el tema geotérmico, existen dificultades en Chile para concretarlo. (Lahsen, 2006)

### **5.6.3.9 Dimensión Social:**

En cuanto al rechazo social a nivel general y especialmente en las comunidades directamente afectadas que pudiera generar la instalación de centrales geotérmicas en Chile, así como lo han producido proyectos hidroeléctricos como Ralco, han existido casos internacionales de oposición. Por ejemplo, en México, Estados Unidos y Nueva Zelanda hubo problemas con las comunidades indígenas locales, porque las zonas donde se instalaron las plantas estaban cerca de centros ceremoniales, pues sus ritos los asocian a las manifestaciones termales. (Hiriart, 2006)

Sin embargo, tomando las precauciones necesarias con respecto a las comunidades o grupos que pudieran ser afectados por la instalación de centrales geotermoeléctricas, el impacto podría ser reducido de manera considerable. (Jara, 2006)

### **5.6.3.10 Dimensión Internacional:**

El Estado ha mostrado una señal importante con la asociación en el 2005 entre la estatal chilena Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) y la *Ente Nazionale per L'Energia Elettrica* (ENEL, líder mundial en el desarrollo de recursos geotérmicos para generación de electricidad, es la empresa eléctrica más grande de Italia con más de 46.000 MW de potencia instalada) para formar la Empresa Nacional de Geotermia. Ambas entidades firmaron un acuerdo para el desarrollo de proyectos de exploración y producción de recursos de geotermia en la zona centro-sur de Chile. La ENAG, Empresa Nacional de Geotermia en la actualidad se encuentra trabajando en cuatro proyectos, y estaría próxima a comenzar la etapa de exploración en Chillán. Si no se presenta ningún inconveniente en el desarrollo de este proyecto, se podría generar electricidad en tres años más. (Coviello e Hiriart, 2006)

### **Experiencia internacional**

México es el tercer generador del mundo de energía geotérmica, después de Estados Unidos y Filipinas, con cerca de 1.000 MW anuales. El éxito de México

dentro de la pobre realidad sudamericana se debe al rol que ha desempeñado el Estado en su desarrollo, el que consideró a la geotermia desde una perspectiva estratégica de diversificación energética. Allí fue el gobierno el que instaló la primera planta, para dar una señal de confianza a los inversionistas privados e incentivarlos a arriesgarse en proyectos geotérmicos. (Coviello e Hiriart G, 2006)

En Costa Rica y El Salvador, que generan 163 MW y 151 MW de energía geotérmica respectivamente, el Estado con el aporte de fondos internacionales ha cubierto los gastos iniciales, para después abrirse a los privados, quienes se han comprometido a continuar invirtiendo en los campos geotérmicos. (Coviello e Hiriart, 2006)

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES**

La preocupación por el tema de la seguridad energética a nivel mundial se ha traducido en iniciativas reales que buscan disminuir los riesgos de la dependencia externa. El libro verde de seguridad energética elaborado por la Comisión Europea establece la necesidad de contar con una visión global de seguridad del suministro para la Unión Europea, planificado estratégicamente y a largo plazo, considerando además cuestiones ecológicas coherentes con las preocupaciones medioambientales.

Como estrategia de diversificación de la matriz energética, y por un tema medioambiental; a nivel mundial se está fomentando el desarrollo de las energías renovables. Iniciativas como la Cumbre Mundial sobre el desarrollo Sostenible de Johannesburgo establece porcentajes y metas de uso de energía renovable, promueve la Producción Más Limpia y define incentivos económicos para proyectos relacionados con la utilización recursos naturales.

La industria de las energías renovables está creciendo por varios factores: el calentamiento global, el incremento sistemático de la demanda de energía y, principalmente, por la creciente ansiedad por la seguridad del suministro energético. A nivel mundial la inversión en energías renovables ha aumentado

considerablemente, de \$80 mil millones de dólares el 2005, pasó a 100 mil millones el 2006.

En cuanto a las ERNC, EEUU y la UE mantienen políticas de promoción para impulsar su avance tales como sistemas de incentivos REFIT, sistema de cuotas y certificados verdes; y han elaborado marcos legislativos favorables.

Y estas herramientas de fomento han hecho crecer esta industria gracias al aumento de financiamiento de proyectos de ERNC, cuyos altos costos iniciales de inversión obstaculizaban su introducción. Estas iniciativas se enmarcan dentro de una política energética ya instaurada en los países industrializados, que ha incluido de manera planificada y permanente a las ERNC.

La utilización de energía geotérmica a nivel mundial exhibe un importante desarrollo, con una potencia instalada de 9.000 MW correspondientes a 250 plantas geotermoeléctricas y varios proyectos en ejecución. En este sentido, la experiencia internacional ya ha avalado la explotación de este tipo de energía, así como las variables técnicas, tecnológicas, ambientales, económicas y de recursos humanos, entre otras; que involucra su utilización.

En América Latina y debido a los requerimientos emergentes, también ha ido creciendo el interés por la seguridad del abastecimiento energético, sumado a la necesidad de generar nuevas fuentes dentro de la matriz energética y al impacto ambiental del uso de recursos energéticos.

La Cumbre de los gobiernos de América Latina y el Caribe en Brasilia para el desarrollo de energías renovables incluyó compromisos de porcentaje de consumo a partir de energías renovables, y la promoción de cooperación entre países, de políticas públicas vinculadas con fuentes renovables, marcos regulatorios, intercambio de experiencias, y la realización de proyectos de energías renovables.

Iniciativas como esta dan cuenta de la preocupación existente en la región acerca del tema de la seguridad energética y del desarrollo de ERNC; sin embargo no se traducen en un crecimiento importante y sostenido de esta industria.

En cuanto a la utilización de energía geotérmica en América Latina y el Caribe, México, El Salvador, Costa Rica, junto a Guatemala y Nicaragua se han

caracterizado por su esfuerzo para explotar los recursos geotérmicos, lo que crea un contexto de perspectivas futuras en la región.

Por su parte, América del Sur exhibe un escaso desarrollo de la geotermia, con insuficiente formación de personal idóneo, y limitada información técnica, entre otros factores.

La experiencia mundial señala que la energía geotérmica ha demostrado su factibilidad técnica y económica para la producción de energía eléctrica; convirtiéndose en una opción significativa para el desarrollo sustentable.

Por lo anterior, el compromiso adoptado por los países desarrollados (cumbre de *Bonn* en el 2004) de asistir en financiamiento, tecnología, apoyo de expertos y gestión, a países en desarrollo para el uso de energía renovable; resulta muy significativo para el objetivo de seguridad energética.

Debido a la creciente demanda energética y factores externos que afectan las importaciones de energía que representan más del 70%, Chile está tratando la seguridad energética de manera estratégica, planificando a través de distintas acciones de corto y mediano plazo, con el fin de disminuir los riesgos de abastecimiento.

Esta decisión de país, concretada en la Política de Seguridad Energética (PSE) tiene entre sus objetivos diversificar la matriz energética, fomentando las inversiones en recursos renovables no convencionales, y reduciendo con esto la dependencia. Esta política energética genera una oportunidad para el fomento de las ERNC en el país, respaldadas además por sus bajos impactos ambientales en comparación con las fuentes tradicionales.

Apoyada por la Ley Eléctrica (Leyes Cortas I y II) que establece un trato preferencial para los proyectos ERNC menores a 20 MW, así como un porcentaje de garantía de licitación del suministro; el gobierno de la presidenta Michelle Bachelet se ha comprometido a promover y desarrollar todas las acciones necesarias para que el 15% de la nueva capacidad instalada al 2010 se obtenga a partir de ERNC.

Este objetivo propuesto por el gobierno, concretado entre otros instrumentos de fomento en el concurso CNE-CORFO para financiar proyectos de generación ERNC en etapa de preinversión; favorece y estimula la participación de inversionistas privados, entregando muestras de confiabilidad y conocimiento para el desarrollo de nuevos proyectos a partir de energías renovables no convencionales.

Unido a las iniciativas anteriores, la evolución en el mercado de la venta de bonos de carbono (Protocolo de Kyoto), se traduce en entradas extra que pueden amortizar las inversiones de esta clase de proyectos.

Previo a los cambios legislativos, el desarrollo de las ERNC dependía de su competitividad frente a las fuentes convencionales, lo que la situaba en una posición de desventaja debido a la sensación de riesgo para el inversionista, generada por la carencia de regulación específica. Este factor ha sido el determinante en el escaso desarrollo de las ERNC en Chile.

El potencial de ERNC de Chile se estima alto, sin embargo no se ha precisado aún los reales potenciales teórico, técnico y económico. Las ERNC con potencial de desarrollo son la mareomotriz, la solar, la biomasa, la minihidro, la eólica y la geotérmica. En una primera instancia, las ERNC con mejores perspectivas de competitividad son biomasa, minihidro, eólica y geotermia; exhibiendo esta última uno de los mejores potenciales técnicos.

En cuanto a las ventajas de las ERNC para generación eléctrica, al tratarse de fuentes nativas disminuyen la inseguridad externa y diversifican la matriz energética. Al tener costos de generación estables y aportar suministro confiable; los proyectos ERNC constituyen una opción viable de generación eléctrica en el país.

Con respecto a las barreras para el desarrollo de las ERNC en Chile; los altos costos de inversión inicial de proyectos (donde la perforación de un pozo va desde un 30 a un 50% de la inversión total); los riesgos de exploración, capacidad y tamaño del reservorio, y riesgos políticos; y la escasa investigación y desarrollo que se traduce en incertidumbres e inseguridades; son los principales factores que desincentivan la inversión de privados en el desarrollo de proyectos ERNC.

Los costos de instalar una central geotérmica son altos, pero su operación y mantenimiento resulta más barato y simple. Así, es en la primera etapa que requiere mayor inversión y que implica también mayor riesgo; donde el apoyo financiero es de mayor importancia.

Instalar una planta geotérmica de 50 MW para 500 mil habitantes implica la perforación de un mínimo de 6 pozos, cuya perforación unitaria cuesta US \$ 2 millones. Una central de estas características cuesta aproximadamente US \$ 50 millones, y en promedio, su instalación puede costar 84 millones de dólares. La generación de cada kilowatt bordea los 6,5 centavos de dólar, versus una central hidroeléctrica cuyo costo de generación va de los 0 a 3 centavos de dólar por cada Kilowatt; y versus una central a gas cuyo costo es de 3,2 centavos de dólar.

Pese a lo anterior, a medida que suben los precios de los recursos energéticos convencionales, más competitiva pasa a ser esta fuente que antes era cara, ya que no depende del precio del petróleo, sino de lo que existe en el subsuelo.

Por otra parte, comparar las fuentes renovables no convencionales con las fuentes convencionales sin considerar la variable ambiental; perjudica la competitividad de las ERNC.

Los insuficientes recursos humanos y técnicos, traducidos en escasez de profesionales multidisciplinarios entendidos en las materias y con experiencia, y en información restringida acerca del potencial y ubicación precisa de los recursos renovables; constituyen también obstáculos que dificultan el avance de iniciativas a partir de ERNC.

Si bien Chile mantiene una política energética que incluye a las ERNC y las promueve; no existe aún una estrategia ofensiva como la de Alemania, España, EEUU o Dinamarca, que supedite la disminución de los precios a los costos de generación de las tecnologías.

Dentro de la meta del gobierno de que un 15% del aumento de la capacidad instalada de generación eléctrica al 2010 sea a partir de ERNC (420 MW), la geotermia debería aportar 1/5 de ese objetivo.

Como ocurre con las demás ERNC, la electricidad generada a partir de recursos geotérmicos reduce la dependencia externa, aportando con esto a la seguridad energética. Además, la geotermoelectricidad es de alta calidad y no depende de estados meteorológicos, implica bajos costos operacionales, y con un manejo adecuado genera bajos impacto ambiental. Las características antes mencionadas hacen de la geotermia una energía con excelentes ventajas para su utilización y permanente mantención.

Por su ubicación geográfica, Chile es un país con gran potencial geotérmico que podría llegar a 16 mil MW, con un potencial útil, según resultados preliminares, entre 1235 y 3350 MW, lo que representaría entre un 10 y un 20% de la energía que el país requiere.

Si bien el potencial es enorme, los recursos geotérmicos no han sido aprovechados aún. Las razones de este hecho radican en la influencia de factores físicos, tecnológicos, económicos, educacionales, políticos y legales entre otros, que conforman un escenario que no ha favorecido el desarrollo de estos recursos.

En cuanto a la dimensión política, desde el año 2000 el gobierno viene fomentando la explotación de los recursos geotérmicos, partiendo de la base que la geotermia es una contribución a los objetivos de la Política de Seguridad Energética del país, y debido al potencial existente puede significar un gran aporte en dicha meta.

La Política de Desarrollo Geotérmico considera no solo la exploración y explotación de los recursos sino también su probable impacto ambiental y social. En este sentido, está acorde a las experiencias internacionales y a los acuerdos ambientales como el Protocolo de Kyoto. Esta política de desarrollo parte de la base del desconocimiento existente acerca de la geotermia, por ello es muy realista al dedicar la primera etapa principalmente para la difusión del tema de la geotermia y sus impactos.

Si bien el año 2000 se promulgó la ley sobre "Sobre Concesiones de energía Geotérmica" que estableció un marco regulatorio para la exploración y explotación de este recurso, la política de desarrollo geotérmico incluye perfeccionar este marco con el fin de mejorar el sistema de concesiones.

La tercera etapa, por su parte pretende reducir las barreras y riesgos para la inversión, la exploración de los recursos, y para la introducción de tecnologías innovadoras.

De esta forma, mediante la difusión del tema, la regulación legislativa y la reducción de los riesgos; el programa del gobierno busca darle solidez y estabilidad al desarrollo de la geotermia en el país.

Otras iniciativas de fomento como un Catastro nacional de zonas con potencial geotérmico, y la vigencia del concurso CORFO-CNE para co-financiar proyectos ERNC; complementan el escenario inicial para el desarrollo sustentable de esta energía.

Con respecto a la dimensión jurídica, como se señaló anteriormente, la Ley N° 19.657 “Sobre Concesiones de energía Geotérmica” estableció que es el Estado el dueño de toda la energía geotérmica, y su propósito fue regular la participación de empresas en las actividades de exploración y explotación, y por otro lado, reglamentar las relaciones entre los concesionarios, el Estado, los dueños del terreno superficial, los titulares de pertenencias mineras y las empresas autorizadas por ley para explorar y explotar los recursos.

Esta ley constituye un gran avance en materia de regulación geotérmica, sin embargo, por ser la primera aproximación al tema requiere del perfeccionamiento de acuerdo a las experiencias adquiridas y a los requerimientos que vayan surgiendo. Aquí, la labor del Programa de Desarrollo Geotérmico desempeña un importante papel.

La dimensión económica ha sido representada hasta ahora principalmente por el concurso CORFO-CNE de apoyo financiero que busca apoyar y mejorar las condiciones iniciales para el desarrollo de energías alternativas, creando más confianza y conocimiento en los inversionistas.

Además, el gobierno invertirá \$532 millones en la elaboración de un catastro de zonas con potencial geotérmico realizado por SERNAGEOMIN (2007-2009), aportando información técnica relevante para el desarrollo de proyectos.

En cuanto a la dimensión física, actualmente existe un catastro de manifestaciones termales en Chile realizado por el SERNAGEOMIN que reconoce zonas con potencial geotermoeléctrico, sin embargo la información existente no es suficiente para generar un mapa técnico acabado que otorgue una base para el desarrollo y uso eficaz de la geotermia.

La dimensión ambiental de la geotermia señala que este recurso es renovable si el vapor extraído es devuelto adecuadamente como agua fría, y que por lo mismo es una de las maneras menos contaminantes de generar electricidad. En Chile, el tema ambiental asociado al desarrollo de las ERNC, incluida la geotermia, se ha traducido en la elaboración de Guías ambientales para inversionistas, que incluirán criterios y declaraciones de impacto ambiental para proyectos ERNC. Esta iniciativa genera un marco regulatorio para el impacto ambiental, que como en las experiencias internacionales, subordina los proyectos a su influencia ecológica local, regional y mundial.

La dimensión tecnológica del estado de la geotermia en Chile, que está relacionada con la perforación, extracción, transporte y uso de los recursos, está bastante atrasada con respecto a países que ya producen electricidad a partir de la geotermia. Esto se debe a que no ha existido una continuidad en el desarrollo de esta energía y a los altos costos de la tecnología de conversión.

Por lo anterior, el factor tecnológico, vinculado estrechamente con el económico ha sido un obstáculo para el desarrollo de la Geotermia en Chile, pero los instrumentos de fomento existentes en la actualidad podrían mejorar dicho panorama.

La dimensión organizacional en el país está representada por el SERNAGEOMIN, que ha realizado catastros y estudios vinculados con los recursos geotérmicos, y que estará a cargo del catastro de potencial geotérmico que estará terminado el 2009.

Esta iniciativa impulsada por el gobierno, proporcionará una base institucional que legitima la información y el emprendimiento de proyectos de generación geotérmica.

En cuanto a la dimensión educacional, hay registro de iniciativas tendientes a aumentar los conocimientos relacionados con el desarrollo de los recursos geotérmicos. La Universidad de Chile realizó un estudio de simulación de desempeño de centrales, por su parte, la Universidad Católica de Valparaíso ha estudiado el potencial geotermoeléctrico nacional y sus posibles aplicaciones.

Si bien hay iniciativas a nivel institucional para contribuir al mejoramiento de la base sobre la cual desarrollar los recursos geotérmicos, la formación y capacitación de profesionales especializados no es un tema resuelto aún.

Con respecto a la dimensión social existente el país, aunque no hay experiencia aún acerca de la recepción social de la instalación de una central geotermoeléctrica; considerando las características y necesidades de las comunidades más cercanas, el impacto podría ser muy bajo.

La dimensión internacional la está dando la asociación de la ENAP y la Ente Nazionales per Lénergia Elettrica, que en el 2005 dio origen a la Empresa Nacional de Geotermia, para desarrollar proyectos de exploración y explotación de recursos geotérmicos en la zona centro-sur del país. De esta forma, nutriéndose de los conocimientos, experiencia y recursos internacionales; la geotermia en Chile se abre paso para convertirse en una opción viable de generación eléctrica.

Según lo investigado y lo concluido de manera parcial respecto al escenario que exhibe Chile actualmente para el desarrollo de la geotermoelectricidad; es posible señalar que el gobierno está haciendo esfuerzos y promoviendo acciones para incentivar la explotación de estos recursos, aunque no parecen ser los necesarios para dar un impulso definitivo.

Por otra parte, si bien existe legislación donde se enmarquen los proyectos, esta requiere de ajustes y modificaciones que den cuenta de los vicios y dificultades vinculadas con las concesiones que puedan surgir durante la puesta en marcha de los proyectos.

El tema económico es preponderante sobretodo en la primera etapa de exploración, y aunque hay sistemas de financiamiento no se aprecia una

estrategia financiera que abarque lo que se requeriría para generar electricidad que represente un aporte significativo dentro de las ERNC.

En cuanto a los aspectos técnicos y ambientales, están siendo estudiados y planificados para en un plazo de 2 años contar con información relevante al respecto.

Los factores tecnológicos y de disponibilidad de recursos humanos no han sido tratados en profundidad y no se detecta una proyección en esos temas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANÁLISIS DE los resultados de la Cumbre de Johannesburgo: Aportes de la Ciudadanía. 2003. En: SEMINARIO INTERNACIONAL. Programa Chile Sustentable. Santiago. Comisión Nacional de Energía.

ARAVENA M., Energía Geotérmica: contribución a la seguridad energética del país. En: CONFERENCIA INTERNACIONAL Estrategias para el Desarrollo de la Industria Geotérmica en Chile, 2006. Santiago. Ministerio de Minería. Subsecretaría de Minería.

BALANCE DE Energía, 2003 [en línea] Comisión Nacional de Energía. CNE <[http://www.cne.cl/estadisticas/f\\_balance.html](http://www.cne.cl/estadisticas/f_balance.html) > [consulta: mayo 2007]

BRAVO J., 2005. Energías Renovables no Convencionales e Impacto Ambiental. En: ENCUESTRO DESARROLLO de las Energías Renovables en Chile. Santiago. Comisión Nacional de Energía y Universidad Gabriela Mistral.

BRAVO R., y TRUJILLO P., 1980. La Energía Geotérmica en Chile. Santiago, Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

CARTAGENA P., 2007. Suscripción Convenio Estudio: Exploración Geológica para el Fomento de la Energía Geotérmica. Ministerio de Minería y Energía y Sernageomin.

COMISION NACIONAL de Energía, CNE, 2007 [en línea] <[http://www.cne.cl/fuentes\\_energeticas/f\\_energeticas.html](http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/f_energeticas.html) [consulta: abril 2007]

CORPORACION NACIONAL de Fomento, CORFO, 2007 [en línea]  
<<http://www.corfo.cl/index.asp?seccion=1&id=3038>> [consulta: mayo 2007]

COVIELLO M.; HIRIART G., 2006 [en línea] Sección "Energía". Publicación  
América Economía. N° Edición 337.  
<[http://www.americaeconomia.com/PLT\\_WRITE-PAGE~SessionId~~Language~0~Modality~0~Section~2~Content~29222~NamePage~EnergiaArti~DateView~~Style~15543.htm](http://www.americaeconomia.com/PLT_WRITE-PAGE~SessionId~~Language~0~Modality~0~Section~2~Content~29222~NamePage~EnergiaArti~DateView~~Style~15543.htm)> [consulta: mayo 2007]

CHILE: EN la encrucijada energética, 2006. [en línea] Publicación *On-line* Un  
Mundo América Latina. Instituto de Ecología Política. <<http://amlat.oneworld.net/>>  
[consulta: mayo 2007]

DEFINEN ZONAS de Chile mayor potencial para generar energías renovables,  
2007. La Tercera, Tendencias, Santiago, Chile, 11 de junio.

DESARROLLO DE la Energía Geotérmica en el Sur de Chile, 2006 [en línea] Sitio  
Web.  
<[http://www.fundacionchile.cl/portal/page?\\_pageid=113,232271&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&p\\_item\\_id=3448272&p\\_area\\_id=206271](http://www.fundacionchile.cl/portal/page?_pageid=113,232271&_dad=portal&_schema=PORTAL&p_item_id=3448272&p_area_id=206271)> [consulta: junio 2007]

DESARROLLO DE los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe.  
2000. [en línea] Programa regional conjunto en materia geotérmica realizado por la  
Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL Y LA Comisión  
Europea por medio de la Dirección General de la Energía.  
<<http://www.eclac.cl/drni/proyectos/synergy/geoterm/texto/capi/capi.1.htm>> [consulta:  
a: abril 2007]

DIAZ F., 1983. Estado Actual de la Geotermia en Chile. En: SEMINARIO LATINOAMERICANO sobre Exploración Geotérmica. Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

DICKSON M.H., y FANELLI M. [en línea] Qué es la Energía Geotérmica. Pisa. Italia. Instituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Internacional Geothermal Association. Traducción en Español: Alfredo Lahsen. Universidad de Chile. Santiago. <<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?l>> [consulta: abril 2007]

ENERGIA GEOTERMICA: Calor generado por la Tierra, 2004. [en línea] Sección Medio Ambiente. Revista Consumer Eroski. N° 77. Mayo. <<http://revista.consumer.es/web/es/20040501/medioambiente/>> [consulta: mayo 2007]

ENERGÍAS RENOVABLES: promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables, 2001. [en línea] Publicación On-line Europa. Actividades de la Unión Europea. Síntesis de la Legislación. Sección Energías Renovables. Energías renovables: promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables. Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo. 27 septiembre. <<http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l27035.htm>> [consulta: mayo 2007]

FERNANDEZ A., 2006 [en línea] Geotérmica: Electricidad y calefacción del subsuelo. Sección Medioambiente. Energía y Ciencia. Revista Consumer Eroski. <[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2006/12/22/158388.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/12/22/158388.php)> [consulta: mayo 2007]

FLORES F., 2007 [en línea] Grandes Inversiones en energías renovables en el mundo. Junio 2007 Sitio web Fernando Flores <<http://www.fernandoflores.cl/node/1996>> [consulta: julio 2007]

FUENTES RENOVABLES de energía en América Latina y el Caribe. Dos años después de la Conferencia de Bonn, 2006. [en línea] Coordinado por Manlio F. Coviello. CEPAL. Naciones Unidas. <[http://www.sedi.oas.org/DTTC/psf/PanamaCity/DOCS/lcw\\_100.pdf](http://www.sedi.oas.org/DTTC/psf/PanamaCity/DOCS/lcw_100.pdf)> [consulta: abril 2007]

GEOHERMAL ENERGY Association, 2005 [en línea] Washington, DC. USA <[www.geo-energy.org](http://www.geo-energy.org)> [consulta: julio 2007]

GEOHERMAL TECHNOLOGIES program, 2005 [en línea] Energy Efficiency and Renewable Energy. U. S. Department of Energy <[www.eere.energy.gov/geothermal/powerplants.html](http://www.eere.energy.gov/geothermal/powerplants.html)> [consulta: julio 2007]

HACIA UNA estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético, 2000. [en línea] Publicación On-line Europa. Actividades de la Unión Europea. Síntesis de la Legislación. Sección Energía. Seguridad del Abastecimiento Energético. Libro Verde de la Comisión Europea. 29 Noviembre. <<http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l27037.htm>> [consulta: mayo 2007].

HAUSER A., 2006. Geotermia: una alternativa energética para Chile. Revista Sernageomin. Sección Área Ciencia y Tecnología. 3(1).

HIRIART G., 2006. [en línea] Nuestra esperanza está en el subsuelo: Energía Geotérmica <[http://www.paritarios.cl/ciencia\\_energia\\_geotermica.htm](http://www.paritarios.cl/ciencia_energia_geotermica.htm)> [consulta: abril 2007].

IMPULSO A las Energías renovables, 2006. [en línea] Sección En profundidad. La Energía que viene. Biblioteca del Congreso nacional de Chile.

<<http://www.bcn.cl>[http://www.bcn.cl/carpeta\\_temas/temas\\_portada.2006-12-18.7650530977/area\\_1.2006-12-18.5159470069](http://www.bcn.cl/carpeta_temas/temas_portada.2006-12-18.7650530977/area_1.2006-12-18.5159470069) [consulta: abril 2007]

INTRODUCCIÓN A los sistemas de retribución de las energías renovables en la Unión Europea. La visión de los productores, 2003. [en línea] Presentación publicada en sección Modelos de Apoyo Renovable versión *On-line* de la Asociación de Productores de Energías Renovables APPA, España. <[http://www.appa.es/13presentaciones/confes/modelos\\_apoyo\\_renovable.pdf](http://www.appa.es/13presentaciones/confes/modelos_apoyo_renovable.pdf)> [consulta: abril 2007]

JARA W., 2006. Introducción a las ERNC. Santiago. Endesa. 83 pág.

JARA W., Endesa Chile. Y su compromiso con las energías renovables, Endesa Eco. En: CONGRESO ENERGÍAS Renovables No Tradicionales. Septiembre 2006. Santiago.

LA COOPERACIÓN en materia de energía con los países en vías de desarrollo, 2003 [en línea] Resolución del Parlamento Europeo sobre la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. 19 de junio 2003 <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P5-TA-2003-0294+0+DOC+XML+V0//ES>> [consulta: mayo 2007]

LAHSEN A., 2000. La Energía Geotérmica: Posibilidades de Desarrollo en Chile. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago.

LAHSEN A., 2006. Desarrollo de la Energía Geotérmica en Chile. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago.

LAS ENERGIAS Renovables No Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética, 2006. Comisión Nacional de Energía. CNE.

LAS ENERGIAS Renovables son el futuro, 2004. [en línea] Enciclopedia On-line Wikilearning

<[http://www.wikilearning.com/las\\_energias\\_renovables\\_son\\_el\\_futuro-wkccp-2725-1.htm](http://www.wikilearning.com/las_energias_renovables_son_el_futuro-wkccp-2725-1.htm)> [consulta: abril 2007]

MALDONADO P., Desarrollo energético sustentable: Un desafío pendiente. En: SEMINARIO

SEGURIDAD energética, América Latina: Reflejo de las contradicciones de la globalización. Junio, 2006. Santiago. Universidad de Chile. Instituto de Asuntos Públicos.

PEREZ P., 1999. Minuta. Breve Vistazo a la Energía Geotérmica en Chile. Santiago.

POLITICA DE Seguridad Energética PSE, 2006 [en línea] Comisión Nacional de Energía. CNE. Las Energías Renovables no Convencionales en el Marco de la Diversificación Energética. <http://www.cne.cl> > [consulta: mayo 2007]

PONIACHIK K., 2007. [en línea] Se firma convenio para exploración geológica. Noticia Sección Energía. Revista Ecoamérica, 12 de enero. <<http://www.ecoamerica.cl/sitio/index.php?area=232> [consulta: junio 2007]

SEMINARIO ELEGAS: Seguridad Energética: Desafíos & Oportunidades. 2006. Santiago, Comisión Nacional de Energía.

SIMULACIÓN PRELIMINAR de Desempeño Operacional y Comercial de Centrales de Generación Eléctrica Geotérmicas y Eólicas, 2003. Informe Final. Elaborado por el Área de Energía del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile, para la Comisión Nacional de Energía. <[http://www.cne.cl/fuentes\\_energeticas/e\\_renovables/geotermica.php](http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/e_renovables/geotermica.php)> [consulta: abril 2007]

SOFFIA J.M., RAMÍREZ C., 2004. Las Actividades de ENAP en el área de la Geotermia. En: FORO CHILENO-ALEMÁN: Energías para el futuro. Geotermia-Bioenergía-Energía Eólica. Santiago. Endesa Eco y Universidad de Viña del Mar.