



Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política
Instituto de Geografía



Seminario de Grado:

“Determinación de áreas con potencial para la instalación de plantas de energía termoeléctrica solar. Caso de estudio: III Región de Atacama.”

Por:

Eduardo Orellana Bustamante

Seminario de Grado presentado al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile como uno de los requisitos para optar al Grado Académico de Licenciado en Geografía.

Profesores Guías:

Marcela Sánchez Martínez

Jorge Qüense Abarzúa

Santiago, Diciembre de 2009

Agradecimientos

Es difícil comenzar este apartado cuando se tiene a tanta gente que agradecer, personas que han ayudado, en forma directa o indirecta, a realizar este seminario. Quiero partir por los profesores con quienes comencé este proceso hace más de un año, a Pilar Cereceda y Pablo Osses. También debo agradecer a Don Ramón Castillo quien me alentó constantemente. Además a mis amigos, que me apoyaron y dieron ánimo en los momentos difíciles, Daniela Álvarez, Ítalo Abarca, Constanza Bravo, Felipe Moreno, Gabriela Parraguez, Pablo Páez, Rodrigo Ramírez, Melissa Rubilar, Nicolás Zanetta y de forma especial a mis compañeros de viaje Cristian Santana e Iván Moyano, quienes me acompañaron a Atacama. También debo agradecer al Retén de Carabineros de Inca de Oro y a Juan Francisco Amenábar por darnos alojamiento en el terreno realizado.

De forma especial agradezco a mis profesores guía, el señor Jorge Qüense, por sus asertivas observaciones, y a la profesora Marcela Sánchez por su gran apoyo, disposición y compromiso con este seminario, ya que sin su preocupación, probablemente habría fracasado en este trabajo.

Existen muchas más personas a quienes debo agradecer, que siempre preguntaron como estaba y como iba mi seminario, pero no alcanza esta plana para tanto, pero sepan que siempre estarán presentes.

Para finalizar, nada de esto hubiera sido posible sin una inspiración, sin una idea que me haya hecho decidir por la energía solar y eso se lo debo a mis padres, quienes desde hace mucho tiempo trabajan con esta energía para deshidratar fruta. A ellos y a toda mi familia va dedicada esta obra.

Tabla de contenidos

I Planteamiento del problema.....	6
1- Escasez energética.....	6
2- Independencia energética.....	7
3- Problemas ambientales.....	9
4- La solución termosolar.....	10
II Objetivos.....	12
III Hipótesis.....	13
IV Marco teórico.....	14
1- El Sol como energía fundamental.....	14
2- Antecedentes históricos del aprovechamiento de la energía solar.....	15
2.1- Primeras aplicaciones del recurso solar.....	15
2.2- La energía solar y sus aprovechamientos para producir electricidad.....	16
3- La energía termosolar.....	17
3.1- Tipos de plantas solares.....	18
3.2- Ventajas y desventajas de las plantas solares.....	18
3.2.1- Comparación de las tecnologías solares.....	18
3.2.2- Comparación de la energía solar y la energía de combustible fósil.....	19

3.3- Proyectos termosolares en el mundo.....	23
3.4- Experiencias termosolares en Chile.....	24
4- Principios de localización.....	25
4.1- Criterios de localización para las plantas termosolares.....	26
4.1.1- Radiación.....	26
4.1.2- Nubosidad.....	28
4.1.3- Superficie y topografía.....	29
4.1.4- Recurso hídrico.....	30
4.1.5- Accesibilidad.....	30
4.2- Las normativas para las Energías Renovables No Convencionales.....	31
V Área de estudio.....	33
1- Caracterización física.....	33
1.1- Clima.....	34
1.2- Relieve y topografía.....	34
1.3- Hidrografía.....	35
1.4- Biogeografía.....	36
2- Caracterización humana.....	39
2.1- Población.....	39
2.2- Economía.....	39
2.3- Red vial.....	40
2.4- Red eléctrica.....	40

VI Metodología	43
1- Establecimiento de criterios y parámetros.....	43
1.1- Determinación de criterios a través de bibliografía.....	43
1.2- Consulta a Expertos.....	44
2- Aplicación de los criterios y parámetros.....	45
VII Resultados	47
1- Determinación de criterios y parámetros.....	47
2- Aplicación de criterios y parámetros.....	49
2.1- Radiación solar.....	49
2.2- Pendiente.....	52
2.3- Altitud.....	53
2.4- Línea de falla.....	54
2.5- Nubosidad.....	55
2.6- Uso de suelo.....	56
2.7- Red hídrica.....	57
2.8- Red vial.....	58
2.9- Red eléctrica.....	59
2.10- Superficie.....	60
3- Visita a terreno.....	64
VIII Conclusiones y recomendaciones	67
IX Bibliografía	68
Acrónimos y siglas	74
X Anexos	75

I. Planteamiento del problema

Desde el principio de la historia del hombre las diversas civilizaciones necesitaron de la energía para desarrollar sus distintas actividades. Esta energía era proporcionada por el medio natural que el ser humano comenzó a comprender y utilizar para su beneficio. Desde el encendido de una fogata para las comunidades prehistóricas, la fuerza de los animales para tirar carros durante la época de la Roma imperial, la energía del viento para mover grandes molinos junto al desarrollo de la navegación a vela en la Edad Media, el potencial de los hidrocarburos para mover máquinas durante la revolución industrial, hasta el hito que marcó la llegada del hombre a la Luna en la época contemporánea. Para todas estas invenciones y adelantos se necesitó de energía, que el hombre ha sabido aprovechar de una u otra forma.

1. Escasez energética

La energía ha resultado fundamental para el desarrollo de todos los países del mundo, pues es esta el motor de todos los procesos productivos de las respectivas economías.

Los problemas comienzan cuando la energía, que el hombre da por segura, comienza a escasear, ya sea por agotamiento del recurso o por problemas de relaciones entre estados. Esto último puede ser reflejado en las diversas disputas que históricamente las naciones han tenido por el control de las distintas fuentes de energía y así evitar el temor, que resulta para ellas, de quedarse sin estas fuentes. Como ejemplo se puede mencionar la crisis energética mundial que sucedió en 1973, cuando los países árabes exportadores de petróleo decidieron no vender más crudo a Occidente por su apoyo a Israel en la guerra del Yom Kippur. Este hecho marcó un precedente en el mundo, ya que significó el primer escenario en que la escasez energética se presentaba como un gran problema para las naciones (Ocaña, 2003).

Un hito importante para Chile fue la crisis energética a fines de los años noventa, la cual afectó con racionamiento a la zona central del país, a través de bajas de voltaje y cortes programados de electricidad. Esto fue provocado por la

disminución de la oferta eléctrica producida, principalmente, por la sequía de los años 1998 y 1999, además de causas secundarias como las fallas reiteradas de varias de las centrales termoeléctricas de respaldo y los considerables atrasos en la puesta en operación de las centrales de ciclo combinado a gas natural (Rozas, 1999).

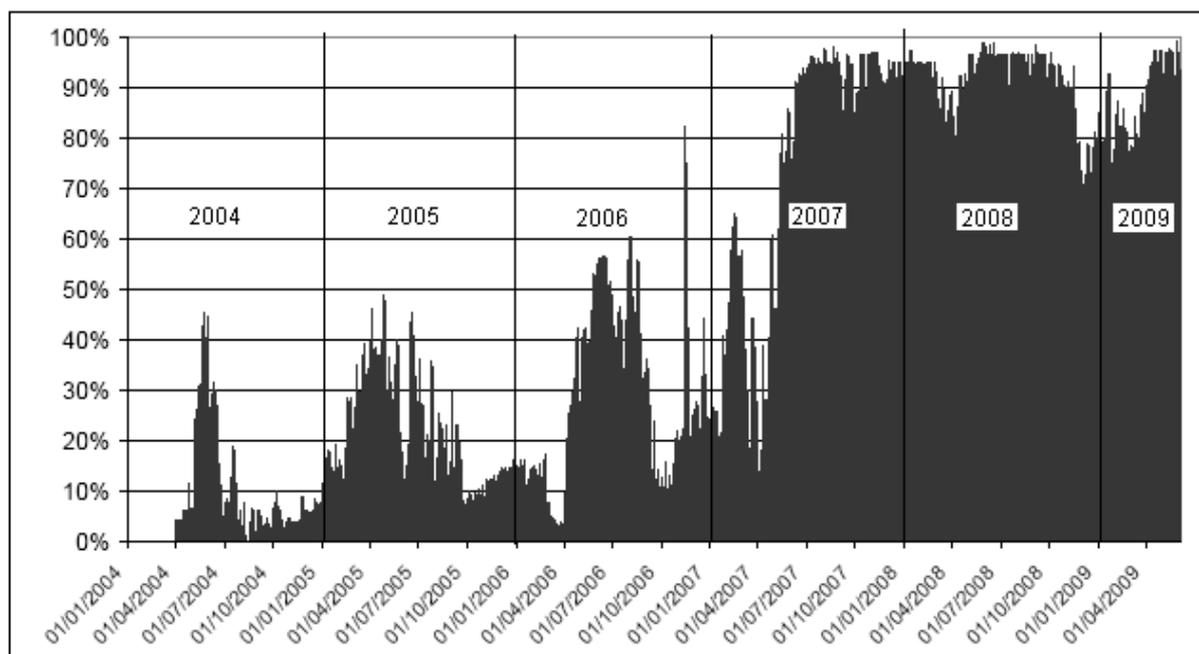
Después de esta crisis energética que afectó al país, quedó de manifiesto, la vulnerabilidad del Sistema Interconectado Central (SIC) a las condiciones climáticas. Este sistema es uno de los más importantes en Chile, ya que abastece a más del 90% de la población del país, comprendida entre la ciudad de Taltal hasta la isla de Chiloé. El parque generador del SIC está constituido en un 53,46% por centrales hidráulicas de embalse y pasada; un 46,34% por centrales térmicas a carbón, diesel y de ciclo combinado a gas natural; y un 0,2% por centrales eólicas (CNE, 2009). Por lo tanto, cada vez que existan años de sequía, el temor del racionamiento energético se hará presente, más aún si las proyecciones de los modelos climáticos para la zona central, realizadas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile pronostican que en Chile central habrá una disminución generalizada de precipitaciones bajo el escenario A2, que es aquel más extremo en cuanto a las emisiones de gases con efecto invernadero, condición que se mantiene en el escenario B2 (más conservador) con la excepción de la estación de otoño para latitudes inferiores a 33°S. La disminución es del orden de 40% en las tierras bajas ganando en magnitud hacia la ladera andina durante el verano, pero reduciéndose durante el otoño y el invierno bajo el escenario B2 respecto a las condiciones de precipitaciones actuales (Universidad de Chile, 2006).

Con la creciente demanda por energía, se han multiplicado los proyectos hidroeléctricos, tanto de pasada, como los proyectos de Alto Maipo, como de represa, como el proyecto HidroAysén. Además, están en construcción nuevas centrales termoeléctricas que funcionan con carbón, gas natural y petróleo como la planta Punta Colorada en la Región de Coquimbo o la central Los Robles en la Región del Maule (CDEC-SIC, 2009).

2. Independencia energética

Uno de los problemas más importantes de las plantas termoeléctricas convencionales es el combustible que se requiere para los procesos productivos, ya que deben ser importados desde otros países, causando incertidumbre cuando estos envíos se reducen, son interrumpidos o suben su valor. Por ejemplo, nuestro país utiliza gas natural en muchas de estas plantas desde fines de los años noventa, éste tiene que ser importado, en su mayoría, desde Argentina, pero desde hace unos años, el suministro se ha visto afectado por el racionamiento que impuso el gobierno trasandino hacia Chile, ya que se pasó de un envío de 3.791 m³ en 1999 a 547 m³ durante el año 2005. Incluso en los meses de invierno de ese mismo año, se suspendió el envío por varias semanas (CNE, 2009). Dichos racionamientos se han mantenido hasta el año 2009, los cuales se muestran en la figura siguiente.

Figura 1. Restricciones de gas desde Argentina en el periodo 2004-2009



Fuente: CNE, 2009.

En el gráfico anterior se muestra el déficit, en porcentaje, de los requerimientos normales de gas natural del sistema central. Entre los años 2004 y 2006 estos recortes no fueron significativos, pero a partir de 2007 hasta la fecha, estos racionamientos, en ocasiones, han llegado a niveles cercanos al 100%, sobre todo en los periodos de invierno, donde la demanda por gas aumenta.

A raíz del problema, ya mencionado, durante el gobierno del presidente Ricardo Lagos, se concibió el proyecto del terminal de gas natural licuado (GNL) en Quintero, el cual entró en funcionamiento la segunda semana de septiembre de 2009 con GNL traído desde Trinidad y Tobago, Egipto, Nigeria, Guinea Ecuatorial y otros países productores, entregando, de esta forma, gas natural a la matriz energética. Este proyecto solucionará, en parte, los problemas de escasez que se han vivido últimamente (GNL Quintero, 2009).

Respecto a las termoeléctricas que funcionan con diesel, también han sufrido problemas, específicamente con el precio del crudo, el cual ha fluctuado con los vaivenes de la economía, afectando sobre todo a los países que son importadores de hidrocarburos, como lo es Chile. Según la ENAP, el precio del barril de petróleo ha variado desde los casi 150 dólares, en junio de 2008, hasta los 34 dólares, a mediados de febrero de 2009 (ENAP, 2009), produciendo una gran incertidumbre en el costo de la energía. Es por ello que la idea de la independencia energética surge con tanta fuerza, ya que tanto el diesel, como el GNL y el carbón son traídos desde el extranjero. Esta situación puede, en un futuro, constituir un problema, ya que tanto el transporte como la producción, no dependen de Chile, sino de otros actores. De esta forma, se pueden suscitar episodios como el citado anteriormente sobre los envíos de gas desde Argentina.

3. Problemas ambientales

Otro de los inconvenientes asociados a la producción de energía de forma convencional está referido a los problemas ambientales, los cuales afectan tanto al medio natural como al humanizado. Estos problemas son ocasionados por las plantas hidroeléctricas y termoeléctricas.

En el caso de las centrales hidroeléctricas, existe un gran impacto al ambiente, provocado por las inundaciones, debido al represamiento de los cauces que sirven de abastecimiento de la central. La consecuencia de esto es la pérdida de cobertura de bosques en la zona de emplazamiento, produciendo una alteración del hábitat de la fauna terrestre y acuática que se desarrolla en esos valles. También existe una variación del cauce debido a la operación de la central, que modifica su régimen hídrico. Otra importante consecuencia se desarrolla en torno a la población que

habita las zonas a inundar, ya que estos proyectos significan una pérdida total, no solo de sus casas y terrenos, sino también de su entorno cultural y la territorialidad que han forjado en el área. Por último, cabe mencionar, el impacto sobre la disminución y pérdida del valor escénico, ambiental y singularidad del paisaje que afecta de manera negativa al ambiente natural (Marchese, 2009).

Respecto a las termoeléctricas convencionales, los problemas medioambientales más importantes están referidos a la utilización de combustibles fósiles en sus fases productivas, los cuales producen un significativo impacto, ya sea en la producción, transporte o consumo de este combustible. Ejemplo de ellos son los derrames accidentales por parte de barcos cargueros o plantas refinadoras localizadas en las zonas costeras, las cuales han tenido fugas de crudo hacia ríos o directamente al mar causando graves daños a los ecosistemas y pesca artesanal de estos lugares. Por ejemplo, el impacto generado por el derrame de petróleo proveniente del Terminal B de ENAP localizado en la bahía de San Vicente, cercano a Talcahuano el año 2007 (CONAMA, 2007). Pero sin duda, el más grave problema que conlleva la quema de combustibles fósiles es la emisión de dióxido de carbono (CO₂). La concentración de este gas ha ido en aumento en los últimos siglos, ya que hasta la época preindustrial la concentración era de 288 partes por millón y en la actualidad los valores están cercanos a los 370 ppm (IPCC, 2001). La necesidad de reducir estas emisiones es una inquietud constante para las diferentes instituciones preocupadas por el cambio climático, ya que el CO₂ se comporta como GEI (gas de efecto invernadero), lo que estaría provocando, junto con otros factores, el aumento de la temperatura media del planeta, la cual ha aumentado en los últimos treinta años en 0,6° C (IPCC, 2007).

4. La solución termosolar

Por los problemas ya mencionados es conveniente el desarrollo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), como medio principal de generación eléctrica, ya que tienen un impacto ambiental mucho menor que las tecnologías tradicionales, es por ello que se hace necesario que este tipo de tecnología reemplace las fuentes energéticas actuales. Una de estas alternativas es la energía solar, a través de plantas de energía termosolar, las cuales han generado buenos resultados en países como España, Estados Unidos e Israel (García, 2001).

Un ejemplo de ellas es la planta termoeléctrica PS10 Solucar que produce 11 MW/h; esta planta se encuentra en Sevilla y provee de electricidad a 5.500 hogares con una producción anual de 24, 3 GW/h. (Garmendia, 2009). La experiencia en otros países sobre el aprovechamiento solar, puede dar ejemplos de cómo producir electricidad provocando un menor impacto, comparado con las formas tradicionales de generación.

La energía termosolar, en síntesis, aportaría a dar solución a los problemas planteados anteriormente, pues el fomento de esta energía representaría el primer paso para resolver la escasez, diversificando la matriz energética y alcanzando la anhelada independencia energética. El desierto de Atacama cuenta con altos niveles de radiación, suficientes para poner en marcha este tipo de proyectos (Horn, 1991). Además, los impactos de esta energía son mínimos, ya que no produce GEI en su fase operacional; además, el recurso solar es gratis e ilimitado (Solnova, 2008).

Este seminario busca, en definitiva, determinar áreas aptas para que este tipo de centrales puedan emplazarse, en zonas donde el recurso y la demanda sean altos. Es por ello que se eligió la Tercera Región de Atacama, ya que cumple con estas dos premisas. En primer lugar, esta región es la más septentrional del Sistema Interconectado Central, encontrándose en pleno desierto, por ello recibe más radiación que cualquier otra de las regiones en donde este sistema abastece de electricidad (Sarmiento, 1995); en segundo lugar, la demanda energética es importante, ya que el SIC abastece de electricidad a más del 90% de la población del país (CNE, 2009). Por ello, resulta de gran trascendencia, la localización de las áreas para la instalación de centrales termosolares en la Región de Atacama.

II. Objetivos

Objetivo general

- Determinar las áreas con potencial para la localización de plantas termosolares en la III Región de Atacama.

Objetivos específicos

- Establecer los criterios y parámetros para delimitar las áreas con potencial para la instalación de plantas termosolares.
- Aplicar los criterios y parámetros para encontrar las áreas con potencial para la instalación de plantas termosolares.

III. Hipótesis

Existe en la III Región de Atacama al menos un 20% de áreas que cumplirían con los requisitos geográficos necesarios para la instalación de plantas de energía termoeléctricas solares.

IV. Marco teórico

La siguiente recopilación bibliográfica tiene por objeto presentar los distintos aprovechamientos energéticos del Sol, poniendo énfasis en la energía termosolar, la cual es el fin de este trabajo. Este marco teórico cuenta con cuatro partes principales: el Sol como energía fundamental, los antecedentes históricos del aprovechamiento solar, la energía termosolar y aspectos de localización de las plantas termosolares.

1. El Sol como energía fundamental

Para Copérnico el Sol era la lámpara que iluminaba la catedral del universo y por esa razón debía estar en el centro (Maza, 1988). A pesar de que esta afirmación tiene poca solidez científica, apuntaba a la cualidad más notoria del Sol, su inmenso brillo. Con 4.600 millones de años de edad, esta estrella es la que ilumina al Sistema Solar, lugar donde está localizada la Tierra (Uriarte, 2003). El Sol emite energía en forma de radiación electromagnética la cual proviene de la transformación de hidrogeno a helio en centros de muy altas presiones en el interior del astro (Strahler, 1989).

La cantidad total de energía que el Sol emite al espacio es gigantesca, pues en cada centímetro cuadrado de una esfera de 150 millones de kilómetros de radio centrada en el Sol, se reciben casi dos calorías por minuto (Maza, 1988). Pero esta radiación no siempre fue la misma, en un principio el Sol emitía menos energía que la actual, estimándose en un 20 a 30% menos (Uriarte, 2003). Hoy en día la radiación que llega a la Tierra corresponde a 1,92 calorías por centímetro cuadrado cada minuto, este índice es conocido como constante solar, la cual es medida en el límite de la atmósfera terrestre (Strahler, 1989). La relevancia de esto es su potencial, ya que muchos autores han escrito sobre las posibilidades de aprovechamiento como, por ejemplo, en el desierto de Atacama, en el cual una superficie de dos kilómetros de ancho por uno de largo recibe en promedio la misma energía que sería capaz de entregar una planta hidroeléctrica de 500 MWe en 24 horas a plena potencia (Horn, 1991).

2. Antecedentes históricos del aprovechamiento de la energía solar

En este apartado se presentarán los diversos usos que ha tenido la energía solar por parte del hombre, desde la época antigua hasta el siglo XXI.

2.1. Primeras aplicaciones del recurso solar

La historia cuenta acerca de la utilización del poder solar desde la época de Arquímedes cuando, en el año 212 a.C., recurrió al calor de los rayos solares para concentrarlos y quemar las naves de la flota romana (Rodríguez, 2002). También es conocida la veneración que hacían egipcios, mayas, aztecas, incas y muchas otras culturas hacia el Sol, representado por sus calendarios y diversas construcciones megalíticas como lo es Stonehenge en Inglaterra, reconociendo en él la influencia en la agricultura y las condiciones climáticas (Sarmiento, 1995). Pero es a partir del siglo XVIII cuando se realizan los primeros experimentos con luz solar; por ejemplo, Lavoisiere, en 1774 realiza numerosos ensayos químicos usando la luz solar concentrada. Ese mismo año Joseph Priestley descubre el oxígeno, incidiendo rayos solares sobre un óxido de mercurio. En 1870, Muchot, relata en su libro numerosas experiencias con la energía solar (Román, 1977).

En la exposición de París de 1878 se presentó un experimento realizado con luz solar, la cual era concentrada en una pequeña caldera de vapor que hacía funcionar un motor que a su vez accionaba una impresora. En 1901 en South Pasadena, se construye un gran colector solar focal en forma de cono truncado, el cual producía 4,5 hp utilizando un área de 14 m². De 1902 a 1908 H. E. Willsie y John Boyle construyeron cuatro motores solares en San Luis y Leedles, California. En 1907 y 1911 Shuman desarrolló motores de vapor solares de varios caballos de fuerza (hp) que bombeaban agua. En 1913, en El Cairo, Shuman y Boys construyen un gran motor solar de más de 50 hp con grandes cilindros parabólicos que concentraban la radiación solar en un tubo central para bombear agua de riego desde el Nilo (Daniels, 1977). En la misma época, Harrington construyó un sistema que almacenaba energía solar en Nuevo México, el cual operaba una caldera que producía electricidad para una mina día y noche (Román, 1977).

Después de la gran actividad, a fines del siglo XIX y principios del XX poco se hizo en el ámbito solar, salvo por algunas experiencias en la década de 1950. Este

decaimiento fue producto del perfeccionamiento y accesibilidad del motor de combustión interna, que desplazaría en importancia a los experimentos solares, hasta la crisis del petróleo de 1973, donde nuevamente se retomó el interés por la energía proveniente del Sol (Román, 1977).

2.2. **La energía solar y sus aprovechamientos para producir electricidad**

Recibe el nombre de energía solar aquella que proviene del aprovechamiento directo de la radiación del Sol, de la cual se obtiene calor y electricidad. El calor se logra mediante colectores térmicos, y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos (CNE, 2009). Estos últimos convierten directamente la energía solar en electricidad y su rendimiento es de un 25% en promedio, respecto a la energía incidente en superficie. Es una tecnología muy intensiva en capital, entre 5.000 y 7.000 euros el kilovatio en España, pero sin costos de combustible. Sus ventajas son que no necesita de un mantenimiento y permite alimentar lugares alejados de redes de distribución y de bajo consumo (Trebollé, 2006). En la industria espacial también son ocupados los paneles fotovoltaicos, específicamente en los satélites enviados al espacio. Desde el lanzamiento de la sonda espacial *Vanguard* el 18 de marzo de 1958, la cual fue la primera en ocupar celdas solares, todos los satélites ocuparon este sistema para alimentarse eléctricamente (Halacy, 1966); de ahí en adelante todos los satélites, hasta la fecha, ocupan este tipo de tecnología.

Para convertir la luz solar en energía se requiere de un proceso llamado efecto fotovoltaico. Este es un fenómeno a través del cual la luz solar es convertida en electricidad del tipo directo, sin usar algún proceso intermedio. Para que se realice tal proceso se requiere de un dispositivo fabricado con materiales semiconductores. Los dispositivos, donde se lleva a cabo dicha transformación, se llaman generadores fotovoltaicos y a la unidad mínima en la que se realiza dicho efecto se le conoce como celda solar. La tecnología de elaboración de celdas solares está basada en uniones íntimas del tipo P-N entre semiconductores monocristalinos, policristalinos y amorfos, como el silicio (Si), telurio de cadmio (CdTe), cobre-indio-selenio (CuInSe₂), arseniuro de galio (GaAs). Dependiendo del tipo de semiconductor, se pueden elaborar celdas solares en película delgada (del orden de una micra de espesor) o gruesas (del orden de cientos de micra de

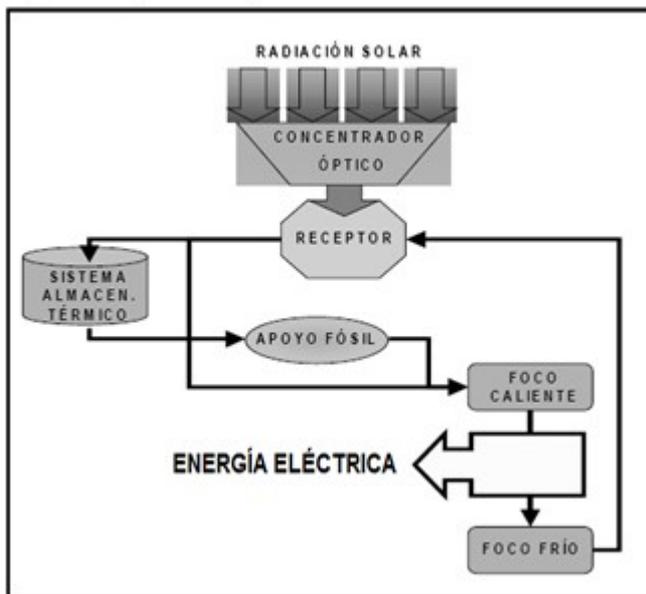
espesor). El mercado actual terrestre de los generadores fotovoltaicos lo dominan las celdas solares de silicio cristalino (x-Si: monocristal y policristal). No obstante, los basados en silicio amorfo hidrogenado (a-Si) han estado ganando terreno en aplicaciones terrestres debido a su mejor acoplamiento con el espectro solar y garantía que ofrecen sus fabricantes (Mulás, 2005).

Otra forma de producir electricidad, a partir de la energía del Sol, es a través de la energía termosolar, la cual es producida por plantas termoeléctricas. Este tipo de aprovechamiento se detallará en el siguiente apartado.

3. La energía termoeléctrica solar

La tecnología termoeléctrica solar consiste en el empleo de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre para el calentamiento de un fluido que se hace pasar por una etapa de turbina directamente o a través de un sistema de intercambio térmico con otro fluido que circula por la turbina (Romero, 2003). La diferencia fundamental entre una central termosolar y cualquier otra central térmica está en el subsistema generador térmico y en el almacenamiento de energía que se puede interponer entre el generador térmico y el ciclo de potencia. Igualmente, desde el

Figura 2. Esquema de producción en centrales termosolares



Fuente: Romero, 2007

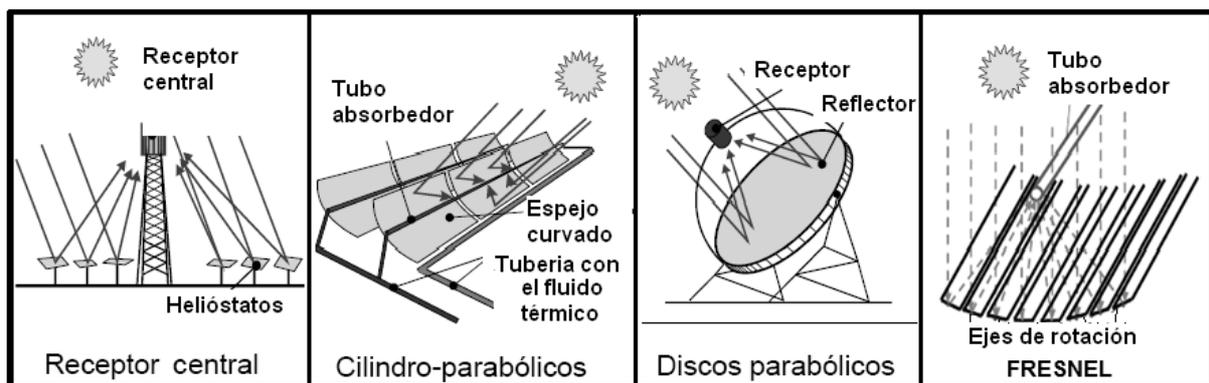
punto de vista de las aplicaciones prácticas y de la introducción de la tecnología, tienen gran importancia las opciones de hibridación de la tecnología termosolar con otras fuentes de energía, como el combustible fósil y la biomasa, así como la correcta integración de estas dos fuentes energéticas (García, 2001). En la figura 2 se muestra el proceso de generación eléctrica.

3.1. Tipos de plantas termoeléctricas

solares

Los diseños iniciales de aprovechamiento solar formaron las bases para el desarrollo de centrales de potencia, a finales de los años setenta y principios de los ochenta, cuando se emprendieron proyectos solares térmicos en varios países industrializados como Estados Unidos, Rusia, Japón, España e Italia (García y Lacal, 2008). A partir de estos diseños se establecieron los tipos de centrales termosolares, los cuales se presentan en la siguiente figura.

Figura 3. Principales tipos de plantas de energía termosolar



Fuente: Romero, 2007.

Los cuatro tipos de centrales termosolares y sus especificaciones técnicas están contenidos en el anexo 1.

3.2. Ventajas y desventajas de las plantas solares

Es importante conocer el desempeño de las plantas solares respecto a las actuales alternativas de generación eléctrica, como son los combustibles fósiles. Es por ello que se analizarán en este punto tanto las ventajas como inconvenientes que presenta la energía solar respecto a las energías convencionales.

3.2.1. Comparación de las tecnologías solares

Las diferentes tipos de plantas termoeléctricas solares poseen ventajas y desventajas, las cuales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Comparación de tecnologías termosolares

	Receptor Central	Disco Parabólico	Cilindro Parabólico
Aplicación	Generación centralizada	Generación Aislada	Generación centralizada
Situación	Prototipos y demostración	Prototipos y demostración	Plantas comerciales
Ventajas	Perspectiva a medio plazo de alta eficiencia y grandes factores de capacidad	Muy alta eficiencia de conversión	Disponibilidad comercial almacenamiento termico
Inconvenientes	Alta inversión costos reales no bien conocidos	Muy altos costos de inversión. Problemas de almacenamiento.	Alcanza menor temperatura, por lo tanto, menor calidad del vapor conductor
Potencia	10 - 200 MW	5 - 25 KW	30 - 320 MW
Temperatura de operación	565 - 1000 ° C	750° C	390° C
Eficiencia máxima	23%	29,40%	20%
Riesgo tecnológico	Medio	Alto	Bajo
Almacenamiento	Si	Baterías	Bajo
Costo €/Watts instalado	2,16 - 3,83	1,14 - 11	2,34 - 3,49

Fuente: Téllez, 2008

Cada una de las tecnologías tiene sus ventajas, según la aplicación que se les dé, o según los requerimientos energéticos que se necesiten, ya que para lugares aislados y de bajo consumo es posible instalar centrales del tipo disco parabólico, en cambio, para requerimientos energéticos mayores es necesario recurrir a plantas de receptor central o de cilindro parabólico.

3.2.2. Comparación de la energía solar y la energía proveniente de combustible fósil

Si bien es cierto la economía de una central termoeléctrica debería medirse mediante parámetros como el requerimiento neto de energía o el costo de producción de gases de efecto invernadero para incorporar el impacto global en el ciclo de vida de esta central en el entorno, la realidad es que las decisiones actuales se toman sobre la base del costo de la electricidad generada, es decir, sin incluir los costos externos. Es por este motivo que se cree que es adecuado proporcionar

información sobre los costos de generación de la electricidad con centrales termosolares, comparándolos con los de otras centrales de generación de potencia (García, 2001).

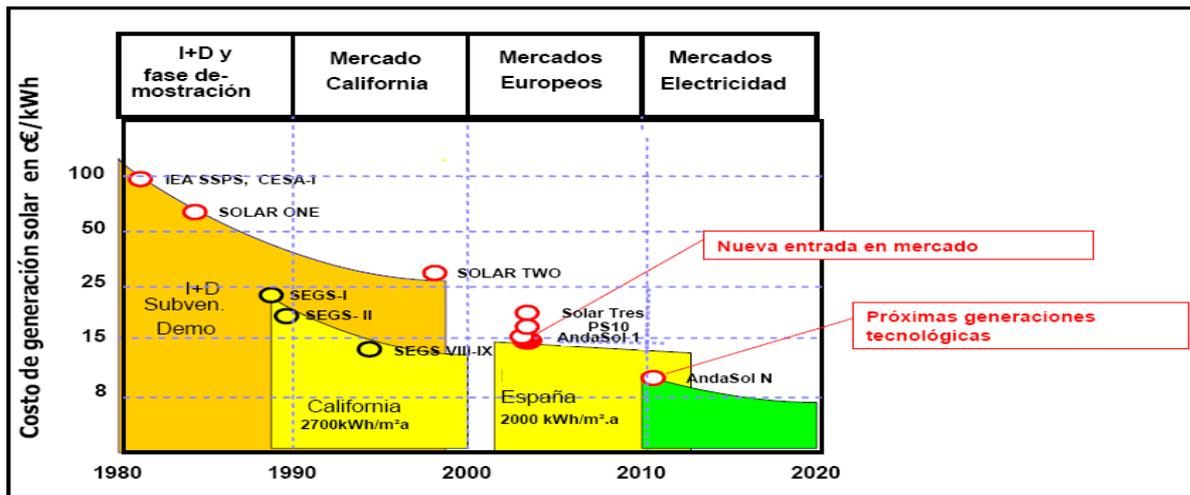
La tecnología termosolar fue capaz de entrar al mercado en una era de incremento y altos precios de la energía (década de 1970). Sin embargo, como los precios de la energía cayeron en la década de 1980, las tecnologías renovables, tales como las plantas termoeléctricas solares, no pudieron competir sin subsidios. Entre 1984 y 1991, Luz Internacional Ltd. construyó nueve plantas comerciales SEGS de ciclo Rankine en el desierto de Mojave, en California. Dichas plantas están en el rango de capacidad de 14 a 80 MW de electricidad y un total de 354 MW de capacidad instalada. Tamaño, funcionamiento y eficiencia se han incrementado con cada sucesiva planta y los costos fueron reduciéndose en más de la mitad (Mulás, 2005).

En el último tiempo, los costos de producción de las plantas de energía termoeléctrica solar han disminuido, producto de la innovación en componentes y sistemas, al optimizar las tecnologías de producción, con la mejora de la eficiencia, al aumentar el número de horas equivalentes a plena carga mediante el almacenamiento térmico y con la construcción de más plantas de mayor tamaño (Téllez, 2008). La disminución de estos costos y las perspectivas en el futuro son expuestas por varios autores, entre ellos Manuel Romero quien es director de la División de Energías Renovables del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas del gobierno español. Él pronostica que para el año 2020 el costo de la energía termosolar será de 8 centavos de Euro el Kilowatts hora, esto gracias a políticas gubernamentales de subsidio en un primer momento y luego al entrar en competencia de lleno con la tecnología fósil (Romero, 2008).

En la figura 4, que se presenta en la siguiente página, se puede apreciar la reducción del costo que ha tenido la energía solar desde sus inicios, a partir de la puesta en marcha de las primeras centrales en la década de los ochenta, incluyendo

los proyectos actuales como, por ejemplo, el proyecto Solar Two y las más recientes etapas del proyecto SEGS en California. También se muestran los avances en el mercado europeo con la puesta en marcha de los proyectos Andasol PS 10 y Solar tres, localizados al sur de España, los cuales reducirían, aún más, los precios del Kilowatts hora. Finalmente, se aprecian las proyecciones para el futuro de la energía solar, siendo posible observar una gran disminución del costo de producir un Kilowatts hora, respecto a lo que costaba al principio de la década de 1980.

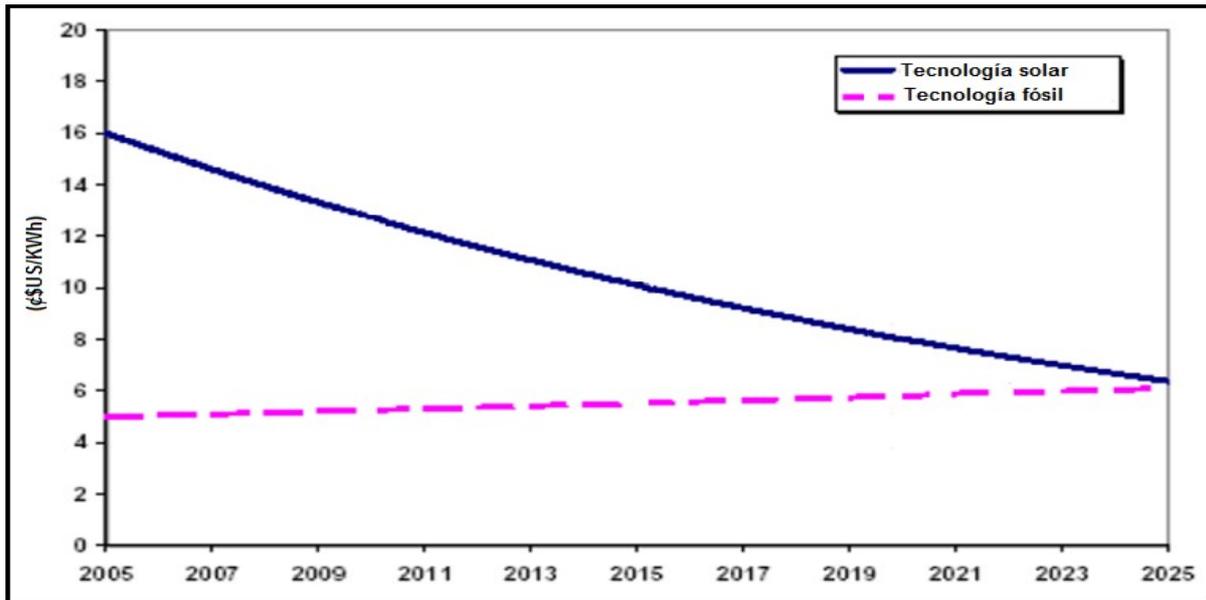
Figura 4. Evolución de los precios de la energía termosolar.



Fuente: Romero 2008.

Respecto a la comparación con la tecnología energética de combustibles fósiles, el precio por Kilowatts hora es mucho mayor en una planta termosolar que en una planta termoeléctrica convencional, ya que el costo de producción de esta última está, en la actualidad, en los 5 centavos de dólar el Kilowatts hora; en cambio, la tecnología solar supera los 13 centavos de dólar el Kilowatts hora. Esta perspectiva cambiaría, en el futuro, igualándose los costos hacia el año 2025 (Falchetta y Manfredi, 2005), tal como lo muestra el gráfico siguiente.

Figura 5. Comparación de los precios de la tecnología solar con respecto a la tecnología fósil y su evolución en el tiempo



Fuente: Falchetta y Manfredi, 2005.

Es importante considerar los aspectos medioambientales al hacer un paralelo entre las tecnologías energéticas. Las plantas termosolares, comparativamente, causan pequeños impactos adversos, los cuales se relacionan con el uso de fluidos de transferencia de calor, agua y uso de suelo (Mulás, 2005).

Algunos autores exponen que la energía solar es la gran alternativa para evitar la contaminación atmosférica, ya que según ellos la electricidad solar térmica carece de las emisiones contaminantes o de las preocupaciones de seguridad medioambiental asociadas con las tecnologías de generación convencional. No hay contaminación en forma de gases de combustión o ruido durante la operación y la desmantelación de una central no crea problemas. Lo que es más importante en términos medioambientales más amplios es que durante la operación de una central solar termoeléctrica no hay emisiones de CO₂, el gas de mayor responsabilidad en el cambio climático global; aunque hay emisiones indirectas de CO₂ en otras etapas del ciclo de vida (construcción y desmantelamiento), estas son significativamente menores que las emisiones evitadas. La electricidad solar puede, por tanto, contribuir sustancialmente a los compromisos internacionales de reducción del

constante aumento en el nivel de los gases de efecto invernadero y su contribución al cambio climático (García y Lacal, 2008).

Para otros autores, aparte de la contribución en puestos de trabajo (250 a 500 de forma permanente y 2.500 a 5.000 en la etapa de construcción), es importante presentar a la energía solar como una fuente limpia y renovable de generación de electricidad, además de compatibilizar con las otras fuentes energéticas como la fósil y la hidroeléctrica, ya que no vendría a reemplazar, sino a apoyar la generación eléctrica (Téllez, 2008).

Romero también expone las diferencias entre una planta termosolar y otra a carbón que generen 50 MW. Esta última requiere en un año 35.920 toneladas de carbón, emitiendo 89.314 toneladas de CO₂ y 291 toneladas de NO por año, lo cual se evitaría con la alternativa solar (Romero, 2008).

En consecuencia, cada autor ha planteado las ventajas de las plantas solares respecto a las otras alternativas, quedando claro que, por el momento, el costo económico de las centrales termosolares es más alto que las opciones convencionales, pero a corto y mediano plazo podrían constituir una buena opción. Respecto a los costos ambientales y sociales, las plantas solares constituyen una buena alternativa, por sus bajos impactos negativos al medio y la posibilidad de generar empleos, tanto en su fase de construcción como de operación.

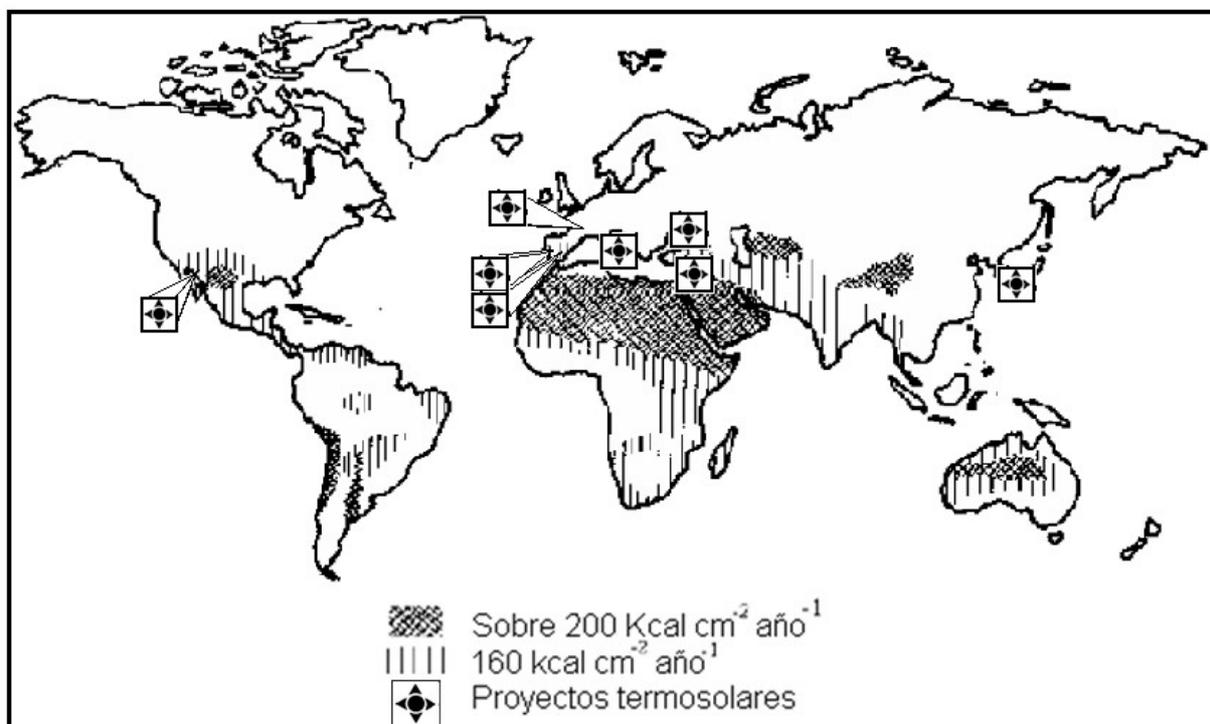
3.3. Proyectos termosolares en el mundo

Las centrales termosolares se encuentran emplazadas en lugares muy soleados, como son las regiones áridas y semiáridas, ya que necesitan de la radiación solar directa del Sol para su funcionamiento (Mulás, 2005). Los ejemplos más característicos son las centrales en España y Estados Unidos, pero también

otros gobiernos experimentaron con esta tecnología, como es el caso de Japón, Francia, Italia, Israel y Ucrania, que en ese momento era parte de la ex Unión Soviética (Téllez, 2008). Las especificaciones técnicas de las plantas, su localización en detalle e imágenes se presentan en el anexo 2.

En la figura siguiente, los proyectos termosolares más importantes se encuentran representados en el mapa de la imagen. Estos proyectos concuerdan con las zonas de mayor radiación en sus respectivos países, como el caso de Estados Unidos, que localizó las plantas de *Solar One/Two* y *Nevada Solar One* en el desierto de Mojave; la central Francesa *Themis* que está ubicada al sur del país, cercano a los Pirineos. También los proyectos Españoles concuerdan con esta premisa, ya que se encuentran emplazados en la zona sur del país, donde existe una mayor radiación, este es el caso de las centrales PS10, PS20, CESA, SSPS y Solar Tres. La figura 6 muestra, además, las zonas con mayor radiación en el planeta, la cuales corresponden a las zonas desérticas, como el Sahara en África, el desierto de Mojave en Norteamérica, zona central de Asia, el interior de Australia y el desierto de Atacama, junto con la costa este de Sudamérica.

Figura 6. Localización de plantas termosolares en el mundo y radiación en superficie



3.4. **Experiencias termosolares en Chile**

Los inicios del aprovechamiento solar a gran escala se realizaron en el desierto de Atacama. En el año 1872, el ingeniero holandés Charles Wilson construyó una planta desalinizadora solar que abastecía de agua dulce a una mina de nitrato. La superficie que ocupaba era de media hectárea (5.000 m²) y produjo agua fresca por más de 40 años con un volumen máximo de 23.000 litros por día (Daniels, 1977). Casi un siglo hubo que esperar para una nueva idea solar, ya que recién en 1960 se experimenta con calentadores de agua con placas planas, los cuales podrían ser utilizados sin restricciones en las regiones que abarca toda la zona Norte del país, incluso en la zona costera donde se concentra la mayor cantidad de la población (Guerra, 2003). Para llevar a cabo cualquier proyecto relacionado con la energía del Sol se requiere de datos sobre radiación, en este aspecto el profesor Julio Hirshmann de la Universidad Federico Santa María, tuvo un papel importante, ya que él fue el primero en recopilar los valores registrados de radiación a partir de 1962 (IV SENESE, 1984).

En 1966 Félix Trombe presentó la idea de construcción de un horno solar en el cerro Montezuma en las cercanías de la ciudad de Calama, dadas las excelentes condiciones climáticas que ofrecía la zona. El horno solar consideraba un reflector que concentraba un flujo energético de 300 a 400 KW de potencia con una temperatura de 3.000° C (Guerra, 2003). En el año 1968 comienza a operar la planta desalinizadora Quillagua en la Región de Antofagasta (ONU, 1979).

A partir de 1978 y durante la década de 1980 se realizaron importantes seminarios llamados SENESE (Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica) en los cuales se presentaron los diferentes trabajos sobre este tema. Además, en esta década se funda la ACHESA (Asociación Chilena de Energía Solar Aplicada) la cual reúne a los principales exponentes en este campo (IV SENESE, 1984).

Con la llegada de la última década del siglo XX cobraron importancia los temas ambientales, sobre todo con la publicación de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en la cual se crea la CONAMA y el SEIA que

reglamenta los impactos ambientales de las actividades y proyectos, dando el primer impulso a las tecnologías de menor incidencia al medio, como lo son las ERNC. Ejemplo de ello son los numerosos aprovechamientos de la energía solar fotovoltaica que se han dado a nivel país en localidades rurales (CONAMA, 2008).

El impulso que necesitaba la energía solar lo entregó el gobierno, el año pasado, con el subsidio de un 100% en proyectos termosolares a quienes compren viviendas sin uso de hasta 2.000 UF; desde esa cantidad, hasta las 4 mil 500 UF el beneficio decrece, esto sumado a los numerosos proyectos de centrales termoeléctricas solares en el norte de Chile hace crecer el interés por la energía solar en el país (CNE, 2009).

4. Principios de localización

Según la teoría clásica de la geografía, la localización espacial de las distintas instalaciones económicas como granjas, fábricas u oficinas, depende de múltiples factores: la empresa, la participación de pocos o muchos en los procesos de toma de decisiones, la localización de mano de obra, la localización de los mercados, la disposición de vías de comunicación, y la consideración de externalidades o factores y hechos no estrictamente económicos (Claval, 1980). En este caso se analizarán una serie de factores que se toman en cuenta para instalar las plantas de energía termosolares, los cuales se expondrán en el punto 4.1.

Las plantas termoeléctricas solares se pueden incluir dentro de la actividad económica del tipo industrial, es decir, el sector secundario. Sobre este tipo de actividad existe el modelo clásico de localización perteneciente a Alfred Weber del año 1909. Este modelo plantea que la empresa industrial necesita ubicarse en un lugar donde se produzca una convergencia mínimamente costosa de abastecimientos suficientes (materia prima y fuentes de energía, mano de obra suficiente y cualificada), así como facilidades de acceso a los mercados. Este mismo autor plantea el concepto de centro de gravedad entre los costos de transporte de materias primas, energía y productos manufacturados en que los costos queden minimizados. A esto lo denominó *least-cost location* o localización de mínimo costo (Éntremont, 1997). Por ello, los criterios como la distancia a la red eléctrica, hídricas y camineras deben ser acordes con este principio.

4.1. **Criterios de localización para las plantas termosolares**

Como ya antes se mencionó, al buscar los emplazamientos para desarrollar una actividad se deben tener en cuenta una serie de criterios para lograr una localización de mínimo costo y un máximo aprovechamiento de los recursos, es así como Garmendia (2008), Daniels (1977), Sarmiento (1995), Téllez (2008) y Osuna (1999) proponen ciertas variables a considerar al momento de instalar las plantas termoeléctricas solares. Los criterios de los diferentes autores serán expuestos en los puntos que se desarrollan a continuación.

4.1.1. Radiación

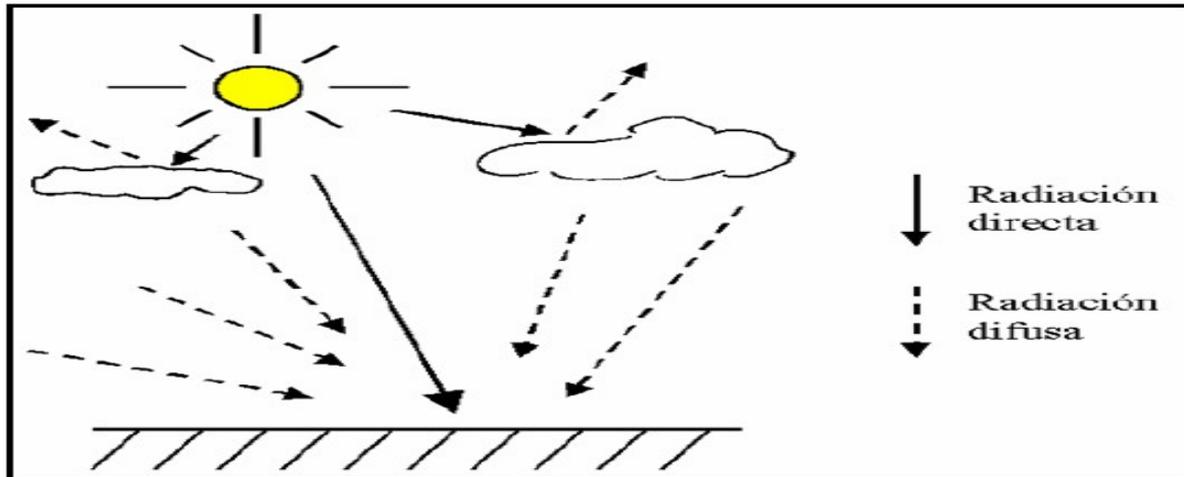
Para Sarmiento (1995), la mejor localización son las zonas que se encuentran en regiones cercanas a los trópicos y que poseen una irradiación sobre las 200 Kcal/cm² al año. Pero en la realidad las localizaciones de las centrales termosolares corresponden a las áreas con mayor radiación dentro de los países que han desarrollado esta tecnología (Téllez, 2008).

Sin duda la radiación solar de un lugar es la primera variable a considerar para cualquier aprovechamiento solar, además de ser este un factor determinante para la viabilidad económica de plantas solares. Así, el costo de la electricidad producida disminuye en la misma proporción en que aumenta el recurso solar (Garmendia, 2008). Es por ello que todos los autores que plantean la idea de instalar una planta termoeléctrica solar se refieren a la radiación como un factor muy importante a la hora de tomar la decisión por determinado lugar (Guerra, 2003).

Pero antes que todo hay que definir el objeto que se está analizando. La radiación es una de las formas de transporte de energía por medio de ondas electromagnéticas o fotones (Sarmiento, 1995). Es a través de esta forma de transporte como llega energía a la Tierra. Esta radiación solar puede ser medida en Langleys por minuto; un Langley equivale a una caloría radiante por centímetro cuadrado por cada minuto (Daniels, 1977). Al llegar al planeta la radiación se distribuye en la superficie de forma desigual, producto de la curvatura de la Tierra y de la inclinación que tiene el planeta respecto al plano de la eclíptica (Uriarte, 2003). La radiación que llega a la superficie de la Tierra puede ser de dos tipos: directa y

difusa tal como se muestra en la figura 7. Se entiende por radiación directa aquella que viene del Sol sin cambiar de dirección, en cambio, la radiación difusa es aquella que incide sobre una superficie, luego de cambiar de dirección por reflexión y dispersión; es este tipo de radiación la que llega a la superficie en un día nublado (Sarmiento, 1995).

Figura 7. Esquema de los tipos de radiación



Fuente: Sarmiento, 1995

Para un aprovechamiento rentable de la energía solar, algunos autores plantean que la radiación debe tener un cierto valor y ser de un tipo específica, por ejemplo, los lugares adecuados para la instalación de plantas de energía termosolar deben ofrecer al menos 2.000 KWh/m^2 de irradiación solar directa anual, aún pudiendo funcionar con umbrales inferiores, pero enclaves óptimos debieran ofrecer más de 2.500 KWh/m^2 (García y Lacal, 2008). Sarmiento (1995) concuerda con esta cifra, planteando que los mejores sitios de aprovechamiento solar se encuentran en regiones cercanas a los trópicos y que poseen una irradiación sobre las 200 Kcal/cm^2 (2.324 KWh/m^2) al año. Para las especificaciones técnicas de los helióstatos de una planta solar del tipo torre central, el fabricante, que en este caso es SENER España, recomienda para un buen funcionamiento una radiación de 2.000 KWh/m^2 (Romero, 2007). Para Ward las mejores zonas de aprovechamiento solar se encuentran entre los paralelos 15° y 35° de latitud Sur y Norte, ya que reciben una radiación mínima de 500 Langley al día y una variación mensual total menor a 250 Langley día. Estas zonas son regiones ecuatoriales de los desiertos áridos de la Tierra, en las cuales, como plantea este autor, el Sol incide en esta superficie con un 90 por ciento de radiación directa, lo que las hace muy apropiadas

para la instalación de plantas solares (Daniels, 1964). Una experiencia concreta en la toma de decisión para localizar una planta solar de potencia se expone en los parámetros usados para la instalación de la central de Almería en España, en la cual se seleccionaron áreas que poseían una irradiación del orden de 1.825 KW/h/m² (Téllez, 2008). Finalmente, para poner un ejemplo aplicado, hay que mencionar la central Solnova en España, la cual producirá 100 MW/h con una radiación de 2.120 KW/h/m² (Garmendia, 2008).

4.1.2. Nubosidad

Para que la instalación de una central termoeléctrica solar sea conveniente se necesita un área que reciba la mayor cantidad de radiación directa, esto quiere decir, que exista un alto porcentaje del año con días despejados (García y Lacal, 2008). En este sentido se han realizado experiencias exitosas para el aprovechamiento solar en el sur de Francia, cerca de la frontera con España, donde se cuenta con 2.600 horas de Sol al año (Guerra, 2003). Esto quiere decir que si se asume que el promedio de horas de Sol por día en un año son doce, tendríamos como resultado que la experiencia francesa se realizó con 217 días soleados, aproximadamente.

Daniels (1964) plantea que las mejores zonas de aprovechamiento son las áreas con 3.000 horas de Sol al año, aunque este mismo autor dice que también son favorables las áreas que poseen alrededor de 2.300 horas.

4.1.3. Superficie y topografía

La energía solar emitida por el Sol y que llega a la superficie de la Tierra es insuficiente, por medios convencionales de absorción térmica, para alcanzar valores de temperatura de trabajo suficientemente elevadas como las requeridas por los ciclos de potencia de las centrales termoeléctricas solares para funcionar con rendimientos aceptables; es por esto que se hace necesario concentrar la radiación del Sol (García, 2001). Con esta premisa se parte para la búsqueda de lugares aptos para el emplazamiento de una central de potencia solar. Por ejemplo, la planta Solar Tres de SENER España necesitó de un área aproximada de 142 hectáreas para producir 17 MW/h (Romero, 2007). La planta PS10 de Sevilla, España necesitó un área aproximada de 55 hectáreas para producir 11 MW/h, mientras que la planta PS20 que generará el doble de energía que la anterior necesitará 95 hectáreas. La

central del tipo cilindro parabólico de Solnova I, también española, necesitará un área aproximada de 380 hectáreas, la cual producirá 100 MW/h incluyendo todas las instalaciones, además del área de almacenamiento para 7 horas de trabajo sin radiación (Garmendia, 2008), por lo tanto, se necesitan grandes áreas para la localización de este tipo de plantas y es lo que se plantea en el estudio de emplazamientos de la planta de Almería, la cual excluye del estudio todas las zonas con una superficie menor a los 5 kilómetros cuadrados (Téllez, 2008).

Respecto a la topografía requerida, las especificaciones de la planta Solnova recomiendan terrenos extremadamente llanos (Garmendia, 2008). En los parámetros sugeridos para la localización de la planta Almería se propone que las superficies no excedan los valores de 1 a 3% de inclinación. También se deja afuera del estudio zonas urbanas, áreas protegidas medioambientalmente y cuerpos de agua (Téllez, 2008).

4.1.4. Recurso hídrico

Para la generación de energía, las plantas termosolares requieren de vapor de agua. Este se consigue con los intercambiadores de calor en un proceso llamado ciclo Rankine, en el cual el fluido calentado evapora una cantidad de agua y el vapor resultante mueve una turbina que genera energía (García 2001).

Los diferentes autores poco hablan de la cantidad de agua que necesitan las plantas, pero de entre ellos destaca las experiencias en México en donde se determina que la disponibilidad de agua puede ser un factor significativo en las regiones áridas donde pueden instalarse mejor las plantas solares, debido a que se requieren de 41 a 54 m³/MWh (Mulás, 2005).

En uno de los reportes finales para la operación y mantenimiento de las plantas solares SEGS se expone que el agua no es abundante en ambientes desérticos y, por lo tanto, extraerla es relativamente caro, ya sea por sacarla de un pozo o por su tratamiento si es agua de desecho. Es por ello que se ha reducido el consumo de esta a través de los años, por ejemplo, en 1989 se ocupaban 4,26 m³/MW/h, en cambio, en el año 1997 se llegó a ocupar tan solo 3,4 m³ de agua por MW/h, de los cuales se utiliza un 1,4% en mantenimiento de la planta y más del 90% en el ciclo de Rankine (Cohen *et al.* 1999). Esto quiere decir que para una planta de

10 MWh se necesitarían aproximadamente, según los criterios de SEGS, 34 m³ diarios.

4.1.5. Accesibilidad

La accesibilidad resulta un factor muy importante para el funcionamiento de la planta, tanto a las redes eléctricas como a caminos, por el principio de localización de mínimo costo de Éntremont (1997). La red vial hace posible que los trabajadores e insumos lleguen al emplazamiento de la central, y la cercanía a la red de alta tensión abarata los costos de conexión. Por ello, la búsqueda de las rutas principales y las redes eléctricas de alta tensión, es uno de los desafíos para la localización. Téllez (2008) expone como uno de los criterios para la viabilidad de una planta que esta tenga una buena comunicación y accesibilidad.

4.2. **Normativas para las ERNC**

La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente especifica en el artículo 10 de los instrumentos de gestión ambiental los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental. En este se menciona en la letra “c” a las plantas generadoras de energía mayores a las 3 MW. Como las plantas termosolares que se han instalado en el mundo son superiores a 3 MW es necesario que esta sea sometida a la evaluación de impacto ambiental (EIA) (CONAMA, 2007).

Lamentablemente, en ningún documento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, ni en las Ordenanzas Generales de Urbanismo y Construcciones, ni en la Ley General de Urbanismo y Construcciones, aparece normada la localización de plantas termoeléctricas solares (MINVU, 2009). Es por ello que se averiguó respecto a los estudios de impacto ambiental en otros países. En esta búsqueda se encontró la experiencia española con la planta Solnova 50. En

su estudio de EIA identifica dos tipos de acciones que pueden ocasionar impactos, estas fueron en la fase de operación y en la fase de construcción. Los factores del medio que fueron impactados están divididos en atmósfera, medio acuático, medio terrestre y medio socioeconómico. De acuerdo con este estudio los impactos fueron compatibles o moderados y en muchos casos positivos, por lo tanto, una planta como esta tendría un impacto mucho menor a lo que pueden causar otros tipos de centrales de energía (Solnova, 2008).

Respeto a las regulaciones eléctricas chilenas, en marzo de 2004, mediante la Ley 19.940, se modificaron un conjunto de aspectos a la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE). Introduciendo elementos especialmente aplicables a las ERNC (CNE/GTZ, 2009). De estos elementos destaca el artículo 71-7 el que se refiere al peaje por uso de instalaciones de transmisión troncal, dicho artículo dice que si la potencia de generación es menor a 9 MW estará exenta de pagos y si esta potencia es superior, el pago será parcial (Vergara, 2009). En mayo de 2005, la Ley 20.018 sobre las ERNC, hace referencia a que los propietarios de Medios de Generación No Convencionales (MGNC), los cuales tienen derecho a suministrar hasta el 5% del total de la demanda destinada a clientes regulados (CNE/GTZ, 2009). El 1 de abril de 2008 entró en vigencia la Ley 20.257 que establece la obligación para las empresas eléctricas que efectúan ventas a clientes finales de que un 10% de la energía comercializada provenga de ERNC (Vergara, 2009). Mediante esta ley, aprobada por unanimidad en su último trámite legislativo, se consolidan los esfuerzos emprendidos por el Estado de Chile para remoción de barreras a la incorporación de las ERNC a la matriz de generación eléctrica nacional, como una forma de aportar a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental que rigen la política energética chilena (CNE/GTZ, 2009).

V. Área de Estudio

El área de estudio del presente trabajo comprende la III Región de Atacama, la cual está situada entre los 25° 17' y 29° 15' de latitud sur, teniendo como límite oriental la República de Argentina, al occidente con el océano Pacífico, al norte con la II Región de Antofagasta y al sur con la IV Región de Coquimbo. Posee una superficie de 75.573,3 km² y representa el 10% del territorio chileno americano e insular. La capital regional es la ciudad de Copiapó, la cual ocupa un lugar central dentro del contexto regional, ubicación que es altamente favorable para las comunicaciones y administración del territorio regional. La división política y administrativa se estructura en tres provincias: Chañaral, Copiapó y Huasco, que a su vez se dividen en nueve comunas: Chañaral Diego de Almagro, Caldera, Copiapó, Tierra Amarilla, Freirina, Vallenar, Huasco y Alto del Carmen (IGM, 1989). Las divisiones y sus respectivas superficies, en kilómetros cuadrados, se encuentran en la tabla 2 que se presenta a continuación.

Tabla 2. Provincias y comunas con sus respectivas superficies de la III Región de Atacama.

Provincias	Superficie (km²)	Comunas	Superficie (km²)
Chañaral	24.495	Chañaral	5.765
		Diego de Almagro	18.730
Copiapó	32.830	Caldera	3.786
		Copiapó	17.717
		Tierra Amarilla	11.326
Huasco	18.248	Vallenar	7.242
		Huasco	1.587
		Freirina	3.207
		Alto del Carmen	6.211
Región	75.573		

Fuente: IGM, 1989

1. Caracterización física

Este apartado tiene por objeto presentar las principales características físicas de la III Región de Atacama, poniendo énfasis en los aspectos más importantes para

la localización de plantas termosolares, como lo son el clima, la topografía, relieve, hidrografía y biogeografía.

1.1. Clima

La Región de Atacama se caracteriza por un clima semiárido y por la presencia de desiertos. Debido al aumento paulatino hacia el sur de las precipitaciones invernales, desde Copiapó hasta el límite norte regional, el clima es muy árido, similar al de la Región de Antofagasta. Al Sur de la ciudad de Copiapó, el clima se transforma en desierto marginal para dar paso paulatinamente al clima de estepa cálido (IGM, 1989). Se destacan en la Región cuatro subclimas:

- El clima desértico litoral: la principal característica de este clima es la abundante nubosidad matinal. Dicho clima se localiza a lo largo de toda la franja costera, penetrando al interior del valle de Copiapó. Las precipitaciones aumentan hacia el Sur, alcanzando 18 mm anuales, mientras las temperaturas anuales promedian 16,1°C, con humedad relativa de 74%.

- Clima desértico de interior: se localiza en la franja intermedia de la cuenca, especialmente en los relieves de las Pampas. Sus principales características son las elevadas temperaturas durante el día, ausencia de nubosidad y de precipitaciones.

- Clima desértico marginal de altura: se localiza en la zona andina por sobre los 2.000 metros de altitud. Las precipitaciones son más abundantes, sobre los 250 mm anuales, y en las cumbres más altas predominan las precipitaciones sólidas. Las temperaturas son bajas y la amplitud térmica entre el día y la noche es acentuada (DGA, 2004). Un aspecto importante en la región es la gran cantidad de radiación solar que recibe a lo largo del año, la cual está entre los 1.700 y 2.230 Kwh/m³ al año, lo cual favorece los aprovechamientos solares (Sarmiento, 1995).

1.2. Relieve y topografía

La región posee las cuatro macroformas características del relieve nacional, estas son la cordillera de los Andes, Depresión Intermedia, cordillera de la Costa y planicies litorales. La primera unidad posee una gran altura, maciza, pero con escasa presencia de volcanes. Tiene las mayores alturas de Chile correspondientes al volcán Ojos del Salado con 6.893 msnm, el nevado de Tres Cruces 6.763 msnm y el Incahuasi 6.621 msnm. El volcán Ojos del Salado tiene dos características importantes: primero, es la máxima altura de Chile y se ubica a unos kilómetros de la mayor altura de la Cordillera de los Andes en Sudamérica “el Aconcagua” con 6.960 msnm. y segundo es el volcán ubicado a mayor altura en el mundo. Frente a Copiapó, la Cordillera de los Andes se divide en la cordillera de Domeyko y la Cordillera de Claudio Gay (Errazuriz, *et al.* 1987). La Depresión Intermedia, al norte de la región forma parte del desierto de Atacama. Al sur del río Copiapó es atravesada por cordones transversales que dan origen a quebradas y valles que, gracias a las aguas provenientes de la Cordillera de los Andes, permiten el trabajo agrícola de sus suelos. La Cordillera de la Costa pierde continuidad en la Región de Atacama dando paso a cordones montañosos que se presentan como sierras y, en algunos sectores, deja paso a las planicies litorales. Estas interrupciones de la cordillera de la Costa se originan en los valles transversales que la cruzan. Las planicies litorales, a diferencia de las regiones del Norte Grande, se presentan con gran amplitud y en muchos lugares ocupan el lugar de la cordillera de la Costa, así el contacto con el mar se realiza a través de extensas playas como Bahía Inglesa y Playa la Virgen, entre otras (IGM, 1989).

1.3. Hidrografía

Las zonas hidrográficas se dividen en dos sectores, los que se ubican al norte del río Copiapó que son de característica endorreica, es decir, no tienen salida al mar (con la excepción del río Salado) y los del sector sur que son de característica exorreica, con salida al mar gracias a la presencia de nieve en esta región permite el desarrollo de ríos de alimentación pluvionival, con cursos permanentes durante todo el año en esta zona (DGA, 2004). Los principales ríos son:

- Rio Salado: posee una cuenca de 21.320 km² y que desemboca en Chañaral. Comprende los recursos intermitentes de las quebradas de Pan de Azúcar, Doña Inés, Chica, Peralillo, del Salado, Chañaral Alto, Las Ánimas, Guamanda, Salitrosa y del Morado, constituyéndose como los drenes más importantes de este sistema las quebradas de Pan de Azúcar y El Salado que, eventualmente, poseen escurrimiento superficial (IGM, 1989).

- Rio Copiapó: la cuenca hidrográfica del río Copiapó se extiende desde la latitud 26°43', por el norte, hasta la latitud 28°34', por el sur. Su régimen hídrico es pluvionival, ya que las crecidas son generalmente en los meses de verano y entre mayo a julio, sus caudales van de entre los 200 a 750 l/s (DGA, 2004).

- Rio Huasco: la cuenca hidrográfica del río Huasco está ubicada en la provincia del mismo nombre y se extiende aproximadamente entre los paralelos 28°30' y los 29°40' de latitud sur, con una extensión de 9.850 km². El río Huasco se forma en Junta del Carmen, a 90 km de su desembocadura en el mar, por la confluencia de los ríos del Tránsito que viene del NE y del Carmen del SE. Su caudal es mayor al del Copiapó con 3,25 m³/s (DGA, 2004).

1.4. Biogeografía

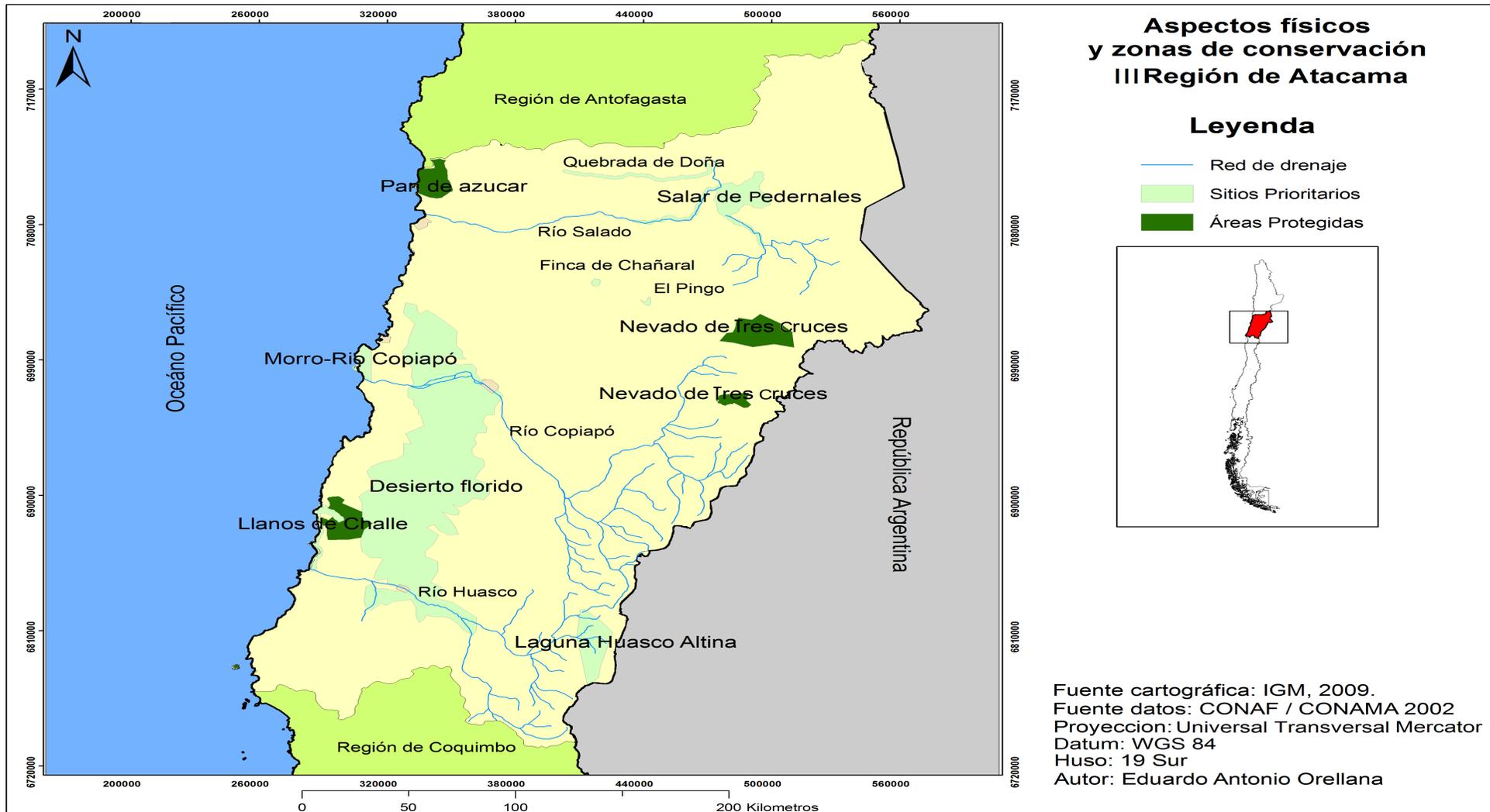
Hasta la quebrada del Salado, la vegetación xerófila de esta región es muy similar a la de la Región de Antofagasta. Más al sur, las condiciones cambian por el aumento de las precipitaciones. En sectores del desierto costero se encuentran especies vegetales tales como palo negro (*Heliotropium stenophyllum*), churco (*Oxalis gigantea*), que es un arbusto que mide 2 metros y medio; coronilla de fraile (*Encelia tomentosa*); cacho de cabra (*Skytanthus acutus*), arbusto que sale en lugares arenosos y cuyos frutos tienen forma de cuerno de cabra, de ahí su nombre, y el Salitre (*Frankenia chilensis*). En tanto, la fauna que habita en este lugar está compuesta por mamíferos como el zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*), el zorro chilla (*Pseudalopex griseus*), el lobo de mar (*Otaria flavescens*), el guanaco (*Lama guanicoe*), el chungungo (*Lontra felina*) y el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) (Gutierrez, 2008).

Hacia el interior, en los valles, se pueden encontrar reptiles como la lagartija rayada nortina (*Liolaemus alticolor*) y la culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*). También, se pueden apreciar algunas aves como el pidén (*Pardirallus sanguinolentus landbecki*) y la perdiz (*Nothoprocta perdicaria*) (Gutierrez, 2008).

En esta zona se presenta un fenómeno natural conocido como desierto florido que se produce porque las lluvias entre los meses de agosto y octubre hacen que las semillas y los bulbos comiencen a florecer. Este fenómeno no ocurre simultáneamente en todo el desierto, depende de los brotes y de la ubicación. Entre las especies más representativas están: la añañuca amarilla (*Rhodophiala bagnoldii*), a. roja (*Rhodophiala phycelloides*) y a. rosada (*Rhodophiala laeta*), y el huilli (*Leuchocoryne coquimbensis*) (Gutierrez, 2008).

En la región, es posible encontrar una serie de zonas protegidas, las cuales son áreas importantes para el estudio de la localización de plantas termosolares, ya que constituyen zonas de exclusión. Entre ellas se puede encontrar los parques nacionales de los cuales destacan el P.N. Llanos de Challe, Nevados de Tres Cruces y el Parque Nacional Pan de Azúcar, cuya flora se caracteriza por estar adaptada a la falta de agua, destacando las cactáceas y una vegetación única, semidesértica alimentada por la camanchaca. La fauna que habita el lugar está representada por los animales marinos, entre los que destacan el chunchungo o nutria del mar y el lobo de un pelo. También es importante en la región la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt la cual está formada las islas Damas, Choros, Chañaral de Aceituno, en el límite sur de la Tercera Región. En ellas habita una gran variedad de fauna, entre las que destaca el pingüino de Humboldt, endémica de la corriente que le da el nombre y que nidifica en estas islas (CONAF, 2009), además existen otras áreas de protección, que la constituyen los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad, estas son zonas en la cual se pueden observar ecosistemas con presencia de flora única y singular (SINIA, 2009). Estas áreas protegidas y los ríos más importantes están en la carta de la figura que se presenta a continuación.

Figura 8. Aspectos físicos y áreas de protección de la III Región de Atacama.



Fuente: elaboración propia

2. Caracterización humana

En este segundo apartado del área de estudio se tratarán temas relacionados con los aspectos antrópicos del paisaje de la Región de Atacama, tales como la composición y caracterización de la población, la economía, la red vial y red eléctrica del SIC.

2.1. Población

La ocupación demográfica del territorio de Atacama está marcada por una fuerte concentración. En los últimos 20 años la población tuvo un aumento del 50% y las zonas que presentan mejores condiciones de habitabilidad física desde el punto de vista del clima, recursos hídricos y topografía, corresponden a la parte media e inferior de los valles de Copiapó y Huasco, en las cuales se encuentran las ciudades de Copiapó, Tierra amarilla, Vallenar, Freirina y Huasco. Allí se concentra aproximadamente el 70% de la población regional (Subdere, 2006). Según las proyecciones estimadas para el año 2008, publicadas por el Sistema Nacional de Información de Municipalidades, la cantidad de habitantes que tiene la Región de Atacama es de 276.480, con una densidad de 3,1 habitantes por km² (SINIM, 2009), de los cuales la mayor cantidad de la población es urbana con un porcentaje cercano al 92%. La provincia de Copiapó es la que mayor aporta población urbana con un 63,6% de la región. El índice de masculinidad de la región es de 103,2; es decir, existen 103,2 hombres por cada 100 mujeres, en comparación con el índice del país que corresponde a 97,1 (INE, 2009).

2.2. Economía

La minería es la actividad que se destaca en esta región. Una de las principales riquezas que se explotan en la minería es el hierro, en la cual se produce

el 47% del total nacional; también se destacan la plata fina con 582.439 toneladas, carbonato de calcio con 486.114 toneladas y cobre fino con 429.044 toneladas (Subdere, 2006). En la agricultura el suelo es más generoso y fértil que en las regiones del Norte Grande, lo que le permite hoy en día tener producción de duraznos, damascos, chirimoyas, hortalizas, aceitunas y aceite de olivo, todas las cuales se dan principalmente en el valle de Copiapó. Destaca principalmente como producto de exportación la uva de mesa que satisface los mercados del hemisferio norte. En esta región la mayor cantidad de hectáreas de tierras arables y cultivables están destinadas a frutales con 8.802 (Subdere, 2006).

En la pesca el 93,1% de la producción se destina a la industria de la harina de pescado y la extracción se realiza principalmente en el puerto de Caldera, donde destacan anchoveta, merluza, jurel y sardina. Por otro lado, las actividades industriales de la región están principalmente ligadas a la minería, destacándose la industria metálica básica, con una generación de 267.667 millones de pesos.

El turismo gracias a las condiciones físicas de la región, se presenta bien potenciado, destacándose el desierto, balnearios como Bahía Inglesa y el museo mineralógico y geológico de Copiapó (Subdere, 2006).

2.3. Red vial

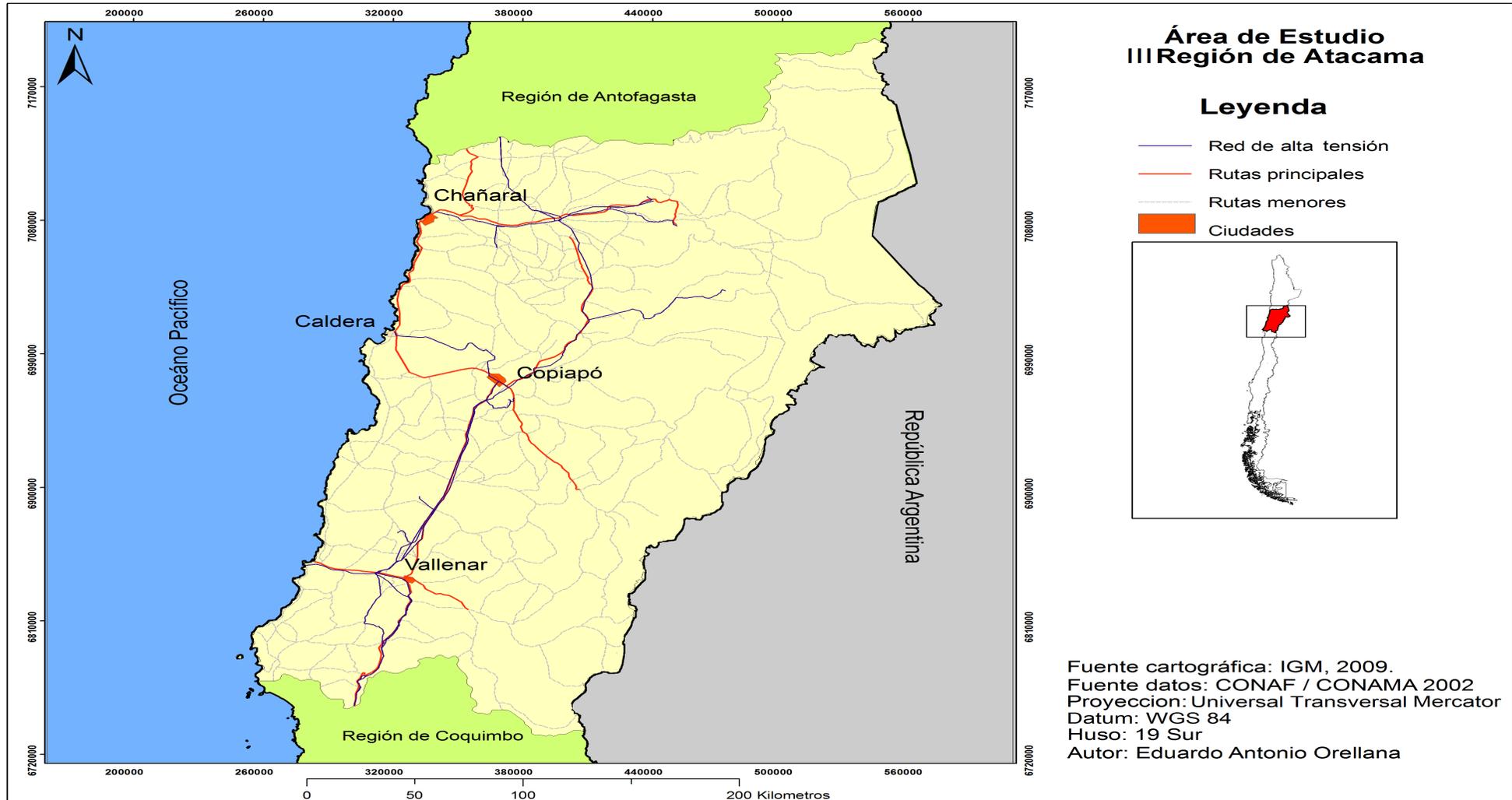
De vital importancia para el desarrollo regional y sus asentamientos poblacionales es la infraestructura vial que permite la interacción entre los centros poblados de la región, con la conexión internacional que vincula a Atacama con el resto del sistema por medio de la Carretera Panamericana (480 km a través de la región) y las distintas rutas secundarias (IGM, 1989).

2.4. Red Eléctrica

La Región de Atacama esta dentro del Sistema Interconectado Central, el cual parte en la ciudad de Taltal y se extiende por toda la depresión intermedia de la región, la gran potencialidad de la red es su capacidad de transporte, ya que posee una tensión de 220 kv, suficientes para conectar cualquier central eléctrica de gran escala (CNE, 2009). En el aspecto de accesibilidad eléctrica de la población, las zonas urbanas de la región cuentan con un alto porcentaje de cobertura, llegando al 99,3%. El consumo en promedio es de 154 Kw/h al mes con un costo de 14.000 pesos en promedio (CASEN, 2006).

En la figura siguiente se presenta la Región de Atacama con todas las comunas correspondientes a la unidad territorial, además de las rutas más importantes, como la Panamericana 5 Norte y las rutas secundarias; incluye también la red del SIC, con las líneas de alta tensión que fueron georreferenciadas a partir de imágenes de Google Earth.

Figura 9. Ciudades, red vial y eléctrica de la III Región de Atacama



Fuente: elaboración propia

VI. Metodología

Para encontrar las áreas aptas para la instalación de plantas termosolares se cumplió dos objetivos. El primero de ellos fue establecer los criterios y parámetros de localización; esto se logró a través de dos fuentes de información principales, una es la búsqueda en la bibliografía referente al tema, indagando todos los factores geográficos que influyeron en la toma de la decisión de instalar las plantas termosolares en los lugares que están en la actualidad, y la segunda fuente fue la consulta a expertos en el tema, con el fin de certificar la información recopilada y poder validarla a la realidad del país. El segundo objetivo fue aplicar los criterios y parámetros para encontrar las áreas con el potencial para instalar las plantas termosolares; para ello se trabajó con los criterios y sus respectivos parámetros de forma independiente en un sistema de información geográfica, con el fin de obtener capas de información de cada criterio. Una vez obtenidas las coberturas, fueron intersecadas en el SIG para poder determinar las áreas aptas de instalación de las centrales termosolares. Con estas áreas ya definidas se fue a terreno para validar la información.

1. Establecimiento de criterios y parámetros para la localización de las plantas de energía termosolar

Para cumplir con el objetivo planteado con anterioridad se siguieron dos pasos metodológicos especificados en los puntos siguientes, los cuales fueron la búsqueda de los criterios y parámetros planteados en las distintas fuentes bibliográficas, y la consulta a expertos en el tema sobre la importancia de estos criterios para encontrar el emplazamiento ideal dentro de la región.

1.1. Determinación de criterios a través de la bibliografía

Un criterio, según Barredo (1996), es cierta base para la toma de decisión, la cual puede ser medida y evaluada a través de parámetros. Esta base se definió a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica referente al tema. Es así como se llegó a determinar, en una primera instancia, una serie de criterios y parámetros que definen los distintos autores como Antonio Garmendia, director de Promoción de Proyectos de la central PS10 en España (Romero, 2008); Félix Téllez de la planta solar de CIEMAT en Almería (Téllez, 2008); Rafael Osuna de la planta solar de Inabensa en

Colón en España (Osuna,1999); José Guerra que es experto en arquitectura solar de la Universidad de Barcelona (Guerra, 2003); Farrintong Daniels, experto en aprovechamiento solar (Daniels, 1977) y Gilbert Cohen, vicepresidente de Acciona, empresa encargada de la construcción de Nevada Solar One en California (Cohen *et al.* 1999). Estos criterios y parámetros se compilaron y presentaron a los expertos chilenos con el fin de obtener su opinión y determinar la forma de trabajar los datos.

1.2. Consulta a expertos

Tras ser definidos los criterios el siguiente paso fue la consulta a expertos relacionados con el tema. Con ellos se analizaron los criterios para incorporar nuevos o rechazar algunos de los planteados, además se determinaron los parámetros de algunos criterios. Esto se realizó a través del método *Delphy* el cual constó de una serie de preguntas dirigidas a cada uno de los expertos en el tema, el cual se muestra en el anexo 3. Luego de esto se analizaron las respuestas para obtener un resultado final que se ocupó en el segundo objetivo de este seminario.

Dentro del cuestionario hay una pregunta en relación a la forma en que los criterios serían trabajados. Estos, en un primer momento, serían considerados como factores o limitantes dependiendo de la opinión de cada experto, definiéndose factor como un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, comúnmente es medido en escala continua, mientras que una limitante restringe la disponibilidad de algunas alternativas, según la actividad evaluada, con este tipo de criterio se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación, es decir, se genera una capa binaria en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, mientras que el otro se rechaza (extraído de Barredo; 1996, Eastman *et al.*, 1993). Los expertos consultados para determinar los criterios y parámetros fueron:

- Pablo Correa Madariaga: ingeniero de INGENDESA, filial de ENDESA, el cual fue entrevistado el 23 de julio de 2009.
- Claudio Becerra González: ingeniero mecánico industrial de la Universidad Técnica Federico Santa María, magister en economía energética y miembro

de la Asociación Chilena de Energía Solar, entrevistado el 25 de agosto de 2009.

- Francisco Forster Buron: doctor en astronomía de la Universidad de Chile, miembro de Desertec-Southamerica, entrevistado el 27 de agosto de 2009.
- Roberto Román: profesor de ingeniería mecánica Universidad de Chile. Experto en aprovechamiento solar, entrevistado el 5 de septiembre de 2009.
- Carlos Portillo Silva: profesor coordinador del Comité de Energía Universidad Católica del Norte entrevistado el 10 de septiembre de 2009.

Con las personas mencionadas se determinaron los criterios y parámetros finales para la localización de áreas para la instalación de las plantas termosolares en la III Región de Atacama.

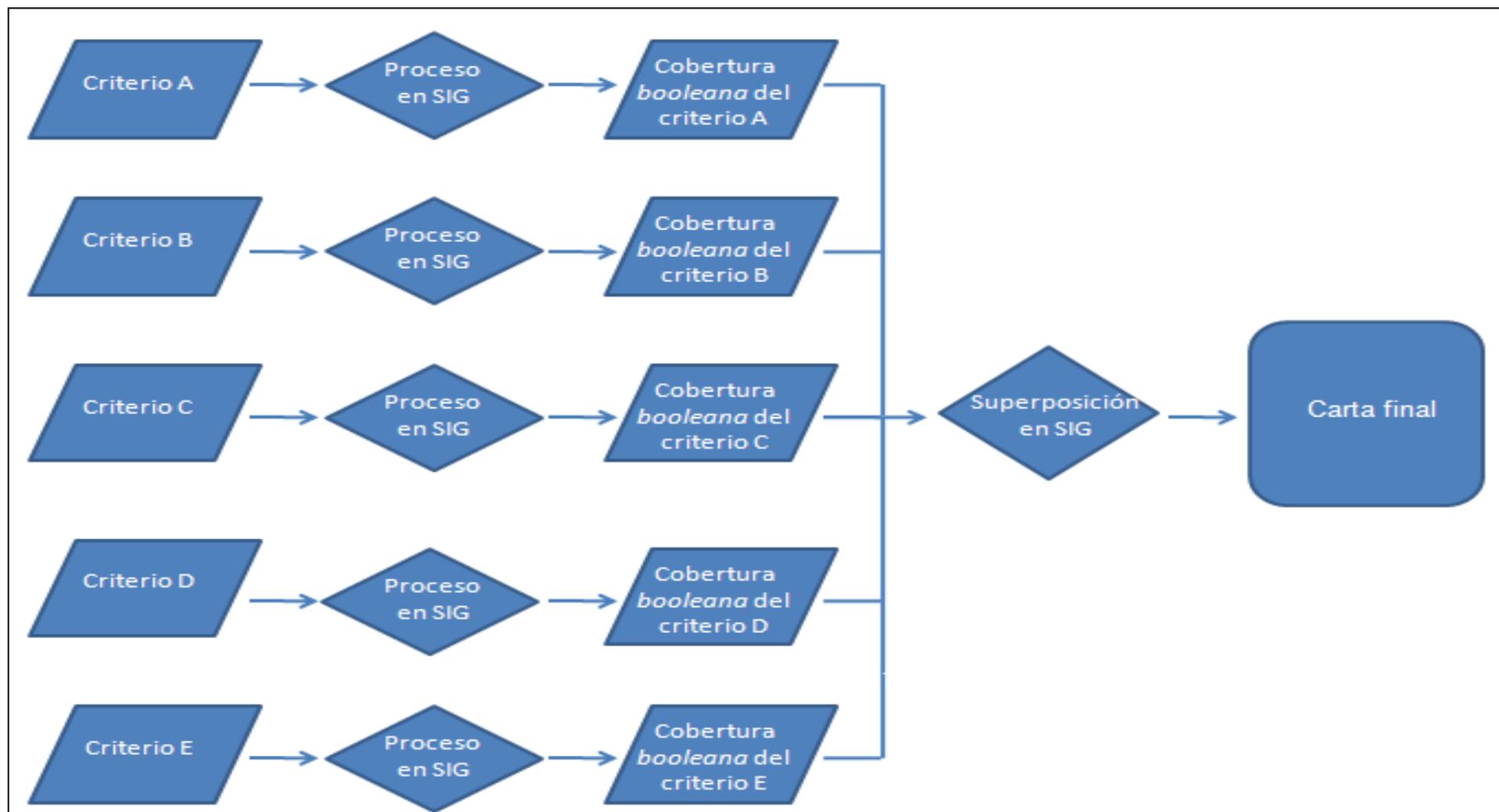
2. Aplicación de criterios y parámetros para encontrar las áreas con potencial para la instalación de plantas termosolares

Tras haber obtenido los criterios y parámetros del objetivo anterior, el paso siguiente es la aplicación de ellos, esto se realizó de la siguiente manera:

- En primer lugar, cada criterio fue procesado de forma independiente en el SIG incorporando los parámetros de localización respectivos. Esto generó una cobertura parcial de cada uno de ellos en las cuales la información fue tratada de forma *booleana*, es decir, las áreas sin aptitud tienen un identificador cero y las áreas aptas poseen identificador uno.
- En segundo lugar, se procesaron estas coberturas *booleanas* a través de la superposición de imágenes con lo cual se determinó cuáles son las áreas aptas para la localización de plantas termosolares aplicando todos los criterios y parámetros.

Este procedimiento se muestra en la figura 10 que se presenta en la página siguiente.

Figura 10. Diagrama del proceso metodológico



Fuente: elaboración propia

VII. Resultados

En este apartado se muestran los resultados de la determinación de áreas con potencial para la instalación de plantas de energía termosolar. Esto se realizó a través de dos objetivos específicos, los cuales se presentan en los puntos siguientes.

1. Determinación de criterios y parámetros

El resultado de este objetivo específico es una tabla resumen, en donde los criterios y parámetros de localización, encontrados en la bibliografía, fueron ajustados a la realidad del país a través de la consulta a expertos en el tema. Este resultado se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Criterios y parámetros de localización de áreas para la instalación de plantas termosolares

Criterios	Parámetros
Radiación solar	Sobre las 1.700 KW/h año o 5 KW/h día promedio anual
Pendiente	Menor a 3%
Altitud	Bajo los 2.800 m.s.n.m
Línea de falla	Mínimo 3 kilómetros
Nubosidad	30 kilómetros desde la línea de costa hacia el interior
Usos de suelo	Excluir zonas protegidas, áreas urbanas y cuerpos de agua
Red hídrica	Máxima distancia 50 kilómetros
Red vial	Máxima distancia 50 kilómetros
Red eléctrica	Máxima distancia 50 kilómetros
Superficie	Superficies mayores a 500 hectáreas

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados

Los criterios y parámetros de la tabla anterior se ajustan a lo investigado en la bibliografía más la opinión de los expertos, esto se detalla a continuación:

- Radiación: tanto Garmendia (2008) de PS10 como Téllez (2008) de CIEMAT plantean que este criterio es el más importante para la localización de las plantas termosolares. Es por ello que se consideró como la variable fundamental para determinar las áreas con mayor potencial. Según los expertos consultados el piso de radiación solar directa que se debe considerar, al momento de la búsqueda de áreas potenciales, es de 1.700 Kwh/m² al año ó 5 Kwh/m² al día.

- Pendiente: este es un aspecto importante al localizar las plantas y se consideró, por ejemplo, en PS10 y PS20 (Garmendia, 2008), ya que tanto el campo de helióstatos como los concentradores necesitan zonas planas. Los expertos consultados concordaron con lo planteado por Téllez (2008) al considerar solo las áreas con pendiente menor a 3%.

- Altitud: este criterio fue mencionado por García (2001) como una gran limitante para la generación de electricidad, ya que a mayor altitud la potencia de la turbina se reduce, por ello se determinó con los expertos, específicamente con Pablo Correa, que una altitud adecuada es menor a 2.800 metros.

- Línea de falla: este es uno de los criterios que se incorporaron al estudio por parte de los expertos, específicamente por Pablo Correa de INGENDESA, ya que la Región de Atacama posee, al igual que todo Chile, una gran cantidad de fallas geológicas, determinando que las áreas potenciales de instalación deben estar alejadas por lo menos a 3 kilómetros.

- Nubosidad: para evitar la influencia marina, que acarrea nubosidad en toda la costa de la región, se decide alejarse de ella. Este parámetro se determinó a partir del trabajo del profesor Pablo Osses (2009) en Chañaral con la nube estratocúmulo, en el cual se estima que a una distancia de 30 kilómetros de la costa la posibilidad de encontrar nubosidad es bastante baja.

- Usos de suelo: este criterio lo menciona Téllez (2008) como importante al momento de instalar una planta termosolar, los expertos también lo consideran importante en la búsqueda de emplazamientos. En ellos se dejaron fuera del estudio las zonas correspondientes a parques nacionales y los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad por constituir áreas con ecosistemas de flora única y singular (SINIA, 2009), además se incluyen los cuerpos de agua y zonas urbanas como zonas de exclusión.

- Red hídrica y vial: estos criterios los determina Téllez (2008) para la conexión y abastecimiento de las plantas. Al aplicarlos a la realidad chilena, los expertos determinaron que una distancia ideal es la que se encuentra a menos de 50 kilómetros.

- Red eléctrica: el SIC recorre la región por su parte central con líneas de 220kv de tensión, las áreas potenciales deben estar a 50 kilómetros de esta. El parámetro se determinó a través de la consulta a los expertos, ya que se considera que una distancia superior no hace viable, económicamente, la localización de las plantas termosolares.

- Superficie: este criterio varía según las dimensiones de las plantas o el tipo de tecnología que se ocupe, pero como menciona Téllez (2008), las áreas deben tener a lo menos 500 hectáreas. La idea es que sean zonas en las que se puedan instalar más de una planta y que esta se expanda con el tiempo, además, tiene que incluir todas las instalaciones de producción de electricidad y almacenamiento térmico (García, 2001).

2. Aplicación de criterios y parámetros

Tras haber determinado los criterios y parámetros de localización se buscaron los datos de cada una de las variables para ser aplicados en el SIG. Este proceso se detalla a continuación:

2.1 Radiación solar

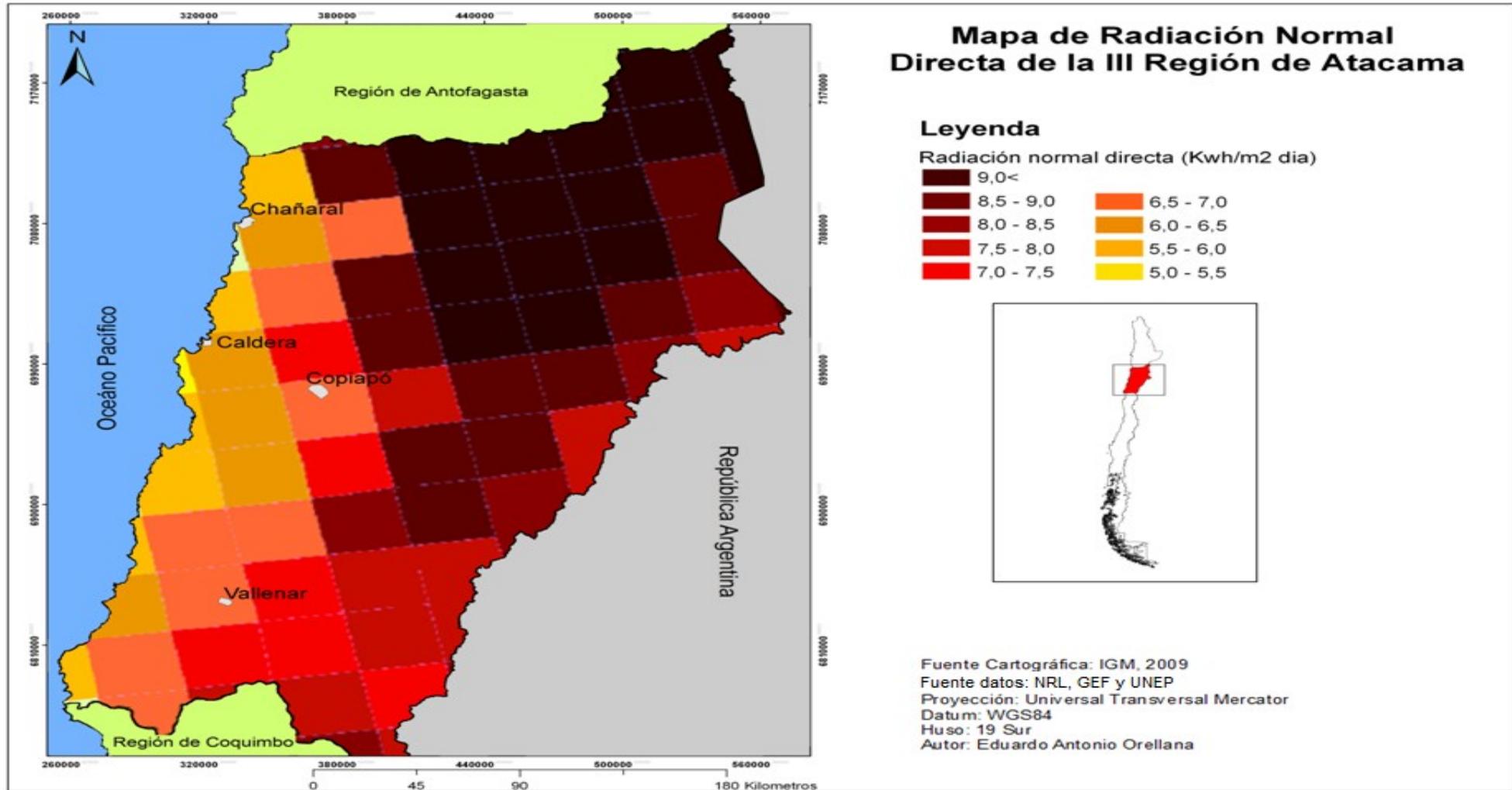
Según los distintos autores consultados, este criterio es uno de los más importantes a la hora de tomar la decisión de instalar una planta termosolar. Los datos de radiación directa, que es el tipo de radiación que se necesita para este estudio, serían extraídos, en un primer momento, del registro de energía solar de Sarmiento (1995), el cual contiene un apéndice con los datos de radiación mensual mapeados con isolíneas para la Región de Atacama. El problema de este mapa es que las isolíneas de radiación fueron tomadas con solo siete estaciones dentro de la región, de las cuales muchas de ellas están en sectores montañosos, como el embalse Lautaro, en donde la sombra de la cordillera distorsiona el registro de la radiación solar (Sarmiento, 1995), arrojando valores mucho más bajos que los que muestra otro tipo de mapas de radiación. Por ejemplo, este mapa muestra para la región, niveles de radiación directa con valores máximos de 5 Kwh/m² al día promedio anual, mientras que otros mapas, como el de ISET para Nevada Solar One, encargado de la construcción y operación de las plantas SEGS, muestran

niveles de radiación mayores a $9,2 \text{ Kwh/m}^2$ al día promedio anual (ISET, 2009). Otro mapa de radiación directa que muestra mayores valores para la III Región de Atacama es el compuesto por las organizaciones NREL, Global Environment Facility y UNEP, el cual fue realizado sobre la base de estimaciones del modelo de radiación promedio mensual total diario utilizando insumos derivados de satélite y observaciones de superficie de la cubierta de nubes, la profundidad óptica de aerosoles, vapor de agua, albedo, la atmósfera, la presión y el ozono incluidas en la muestra a una resolución de 40 km (SWERA, 2009). Este mapa arrojó niveles de radiación de entre $5,5 \text{ Kwh/m}^2$ y 9 Kwh/m^2 al día promedio anual en la región; la zona con menor radiación corresponde a la costa, lugar donde se producen nublados abundantes, mientras que la mayor radiación corresponde al noreste de la región, en donde la nubosidad es escasa (IGM, 2008). También se consideró el mapa de radiación realizado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, el cual está basado en resultados de modelaciones numéricas de la atmósfera. Este mapa tiene valores de 5 Kwh/m^2 a 7 Kwh/m^2 promedio anual, lo que reafirma la aptitud de la Región de Atacama para el aprovechamiento termosolar (Universidad de Chile, 2006).

Por el nivel de detalle, la coherencia con la realidad y el método de muestreo se prefirió trabajar con los datos del mapa realizado por NREL, Global Environment Facility y UNEP, dejando de lado el mapa de isolíneas de Sarmiento y otros revisados.

Tras el análisis del mapa de radiación definitivo se determinó dejar fuera del análisis final a este criterio, ya que la región completa posee aptitud para la instalación de plantas termosolares, al tener valores de radiación normal directa mayores al mínimo requerido, que es 5 Kwh/m^2 , contando la región con más de $5,5 \text{ Kwh/m}^2$, esto se puede ver en la imagen de la figura 11 que se presenta en la página siguiente.

Figura 11. Radiación normal directa en la III Región de Atacama.

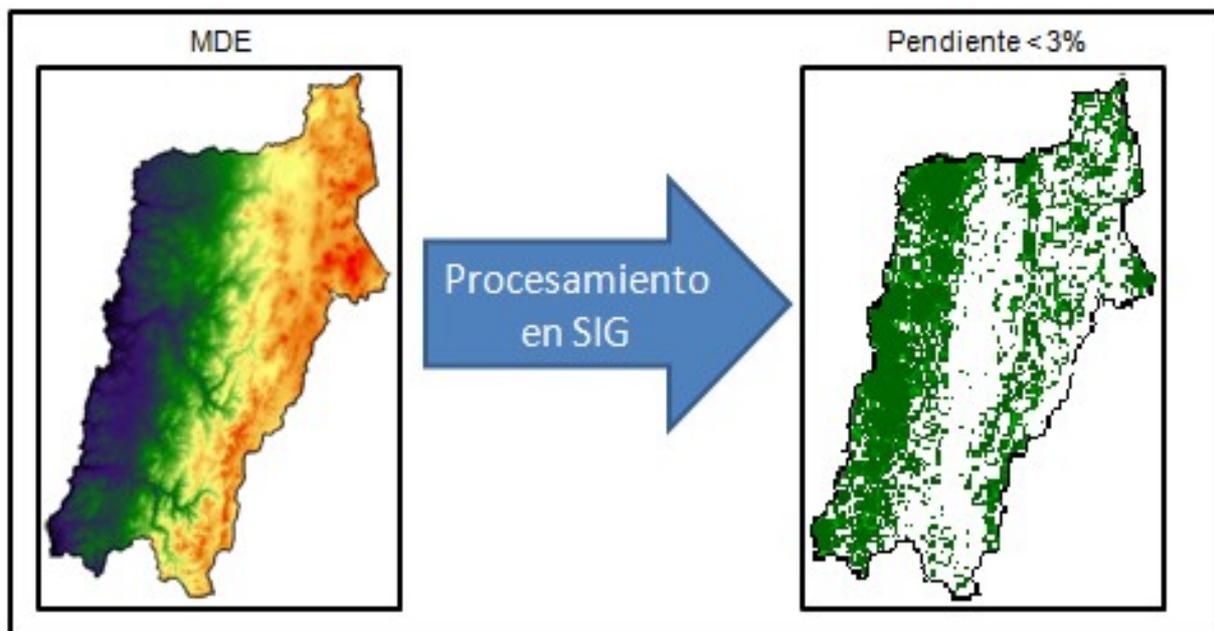


Fuente: elaboración propia

2.2 Pendiente

Para cumplir con lo especificado en el parámetro de este criterio se ocupó el Modelo Digital de Elevación del sensor SRTM 90m disponible en internet, el cual posee una resolución espacial de 90 metros (CGIAR-CSI, 2009). Con estas imágenes se determinaron las pendientes adecuadas a través del SIG, que dio como resultado una cobertura *booleana*, donde se muestra las áreas con menos de 3% de inclinación correspondientes al identificador uno y cero las sin aptitud. Esto se muestra en la figura 12.

Figura 12. Procesamiento del criterio Pendiente



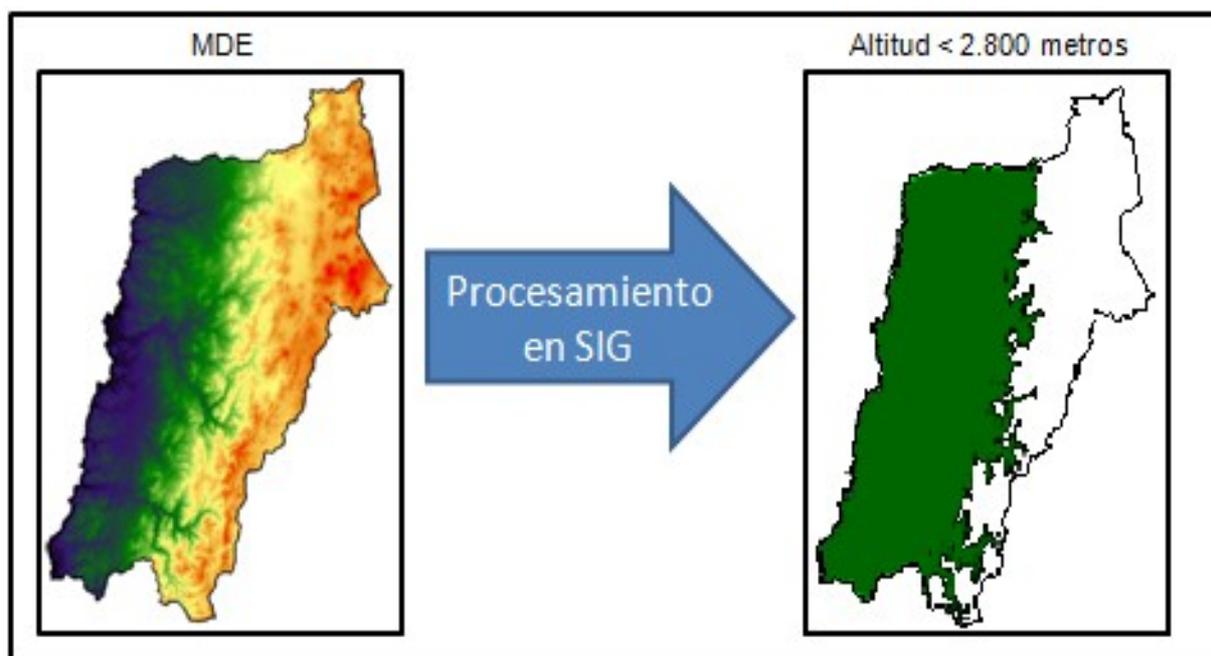
Fuente: elaboración propia

En la imagen anterior se puede apreciar, a la izquierda, el MDE del cual se extrajeron las áreas aptas, según el criterio de pendiente, las cuales se muestran en verde en el mapa de la derecha de la figura.

2.3 Altitud

El parámetro de este criterio, según lo determinado en el primer objetivo, corresponde a las zonas con menos de 2.800 m.s.n.m como las áreas con aptitud para la instalación de plantas de energía termosolar. Para determinar esto se ocupó el Modelo Digital de Elevación del sensor SRTM 90m (CGIAR-CSI, 2009). Con estas imágenes se determinaron las áreas con altitud adecuadas a través del SIG, que dio como resultado la figura 13 que se presenta a continuación.

Figura 13. Procesamiento del criterio Altitud



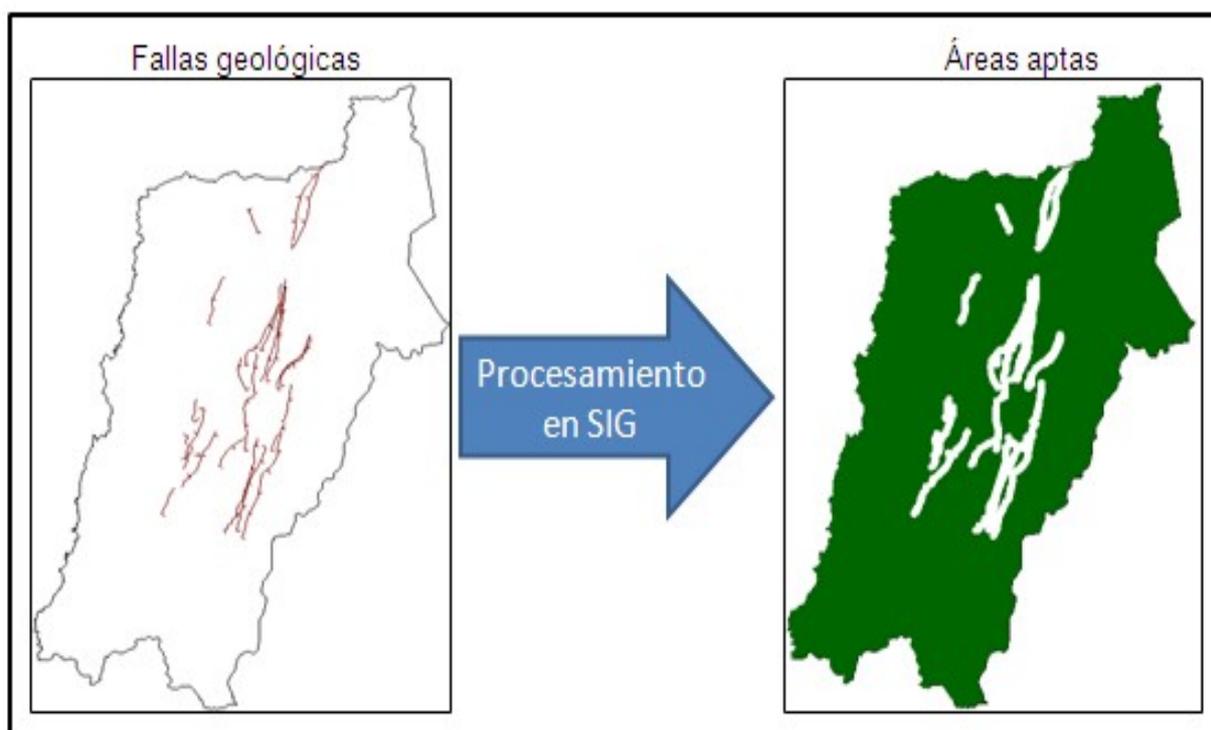
Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior, el criterio de altitud fue resuelto a través del MDE que se presenta en la imagen de la izquierda, a través del cual fueron determinadas las zonas con altitud menor a 2.800 metros, lo cual se muestra, en el polígono de color verde, de la imagen de la derecha.

2.4 Líneas de falla

Las fallas se obtuvieron del mapa geológico del Sernageomin (2003) de escala 1:1.000.000, las cuales fueron georreferenciadas para convertirlas en una cobertura *Shape*, con ello se creó una cobertura del área de proximidad de 3 kilómetros, en la cual se determinó, a esta zona, como sin aptitud, y es representada con el identificador cero, mientras que las aptas, con identificador uno. Esto se muestra en la figura 14 que es presentada a continuación.

Figura 14. Áreas aptas por distancia a fallas geológicas



Fuente: elaboración propia

En la figura anterior, se aprecia, a la izquierda, las líneas de fallas que fueron tomadas en cuenta para el análisis de este criterio. Tras el procesamiento en SIG, a través de un análisis de corredores (*buffer*) de 3 kilómetros de distancia, se determinaron las áreas aptas para la instalación de plantas termosolares, las que corresponden a las zonas de color verde dentro la imagen de la III Región de Atacama.

2.5 Nubosidad

Para este criterio se determinó cierta distancia de la costa, con el fin de evitar la nubosidad que se genera por el fenómeno llamado “camanchaca”. Esta distancia se obtuvo a partir de la cobertura de la región que se obtuvo de IGM (2008), con la cual se generó un corredor de 30 kilómetros, a partir de la línea de costa hacia el interior. Esto se muestra en la figura 15, que se presenta a continuación.

Figura 16. Área de exclusión por nubosidad costera



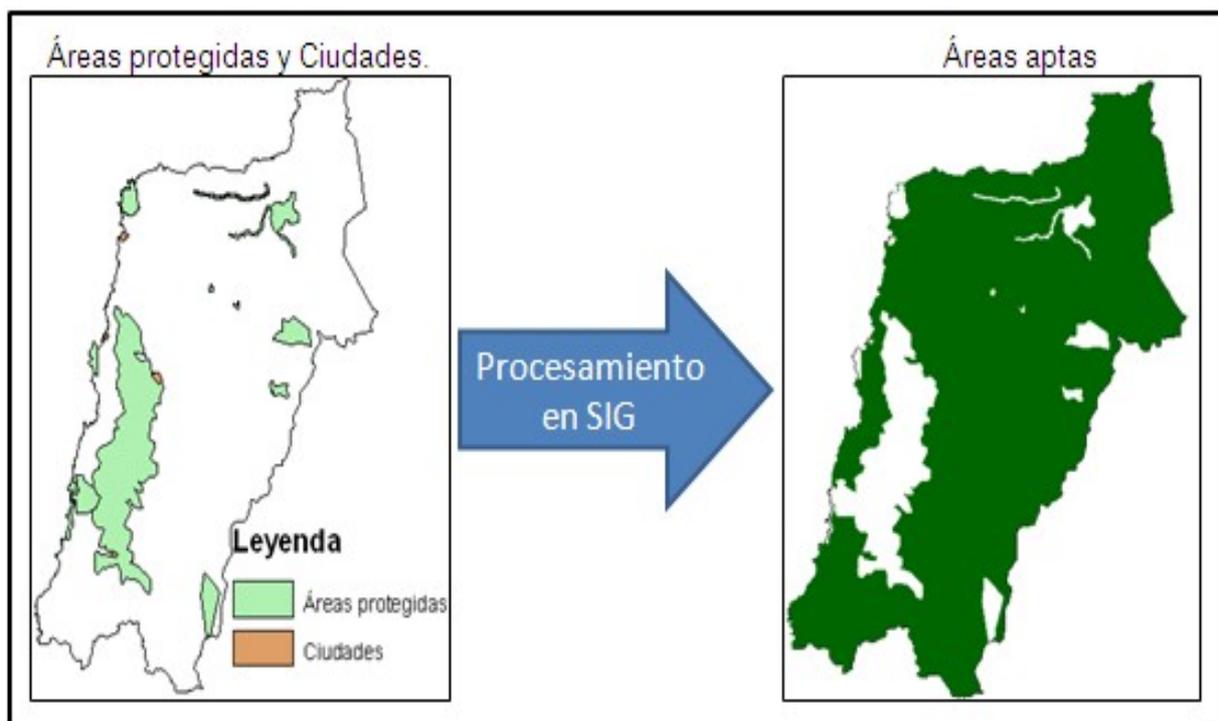
Fuente: elaboración propia

Tal como se aprecia en la figura anterior, la zona con nubosidad se presenta en toda la costa de la región, con una distancia de 30 kilómetros desde la costa, esta zona fue excluida del estudio, representándose con el identificador cero en la imagen de la derecha, mientras que las zonas aptas fueron simbolizadas con el identificador uno, siendo representadas con el color verde, tal como el resto de las áreas aptas, expuestas con anterioridad.

2.6 Usos de suelo

Este criterio se basa en las normas que regulan el ordenamiento territorial, es por esto que es tan importante el uso de suelo para la instalación de una planta termosolar. Los datos fueron obtenidos de la cobertura de usos de las formaciones vegetacionales de CONAF/CONAMA (2002), con escala 1:250.000, para determinar las zonas correspondientes a los parques nacionales y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Se utilizaron coberturas de IGM (2009) para determinar las zonas urbanas y cuerpos de agua que deben ser excluidos de este análisis. Esta información fue trabajada en el SIG generando las áreas aptas de la figura 17.

Figura 17. Usos de suelo aptos



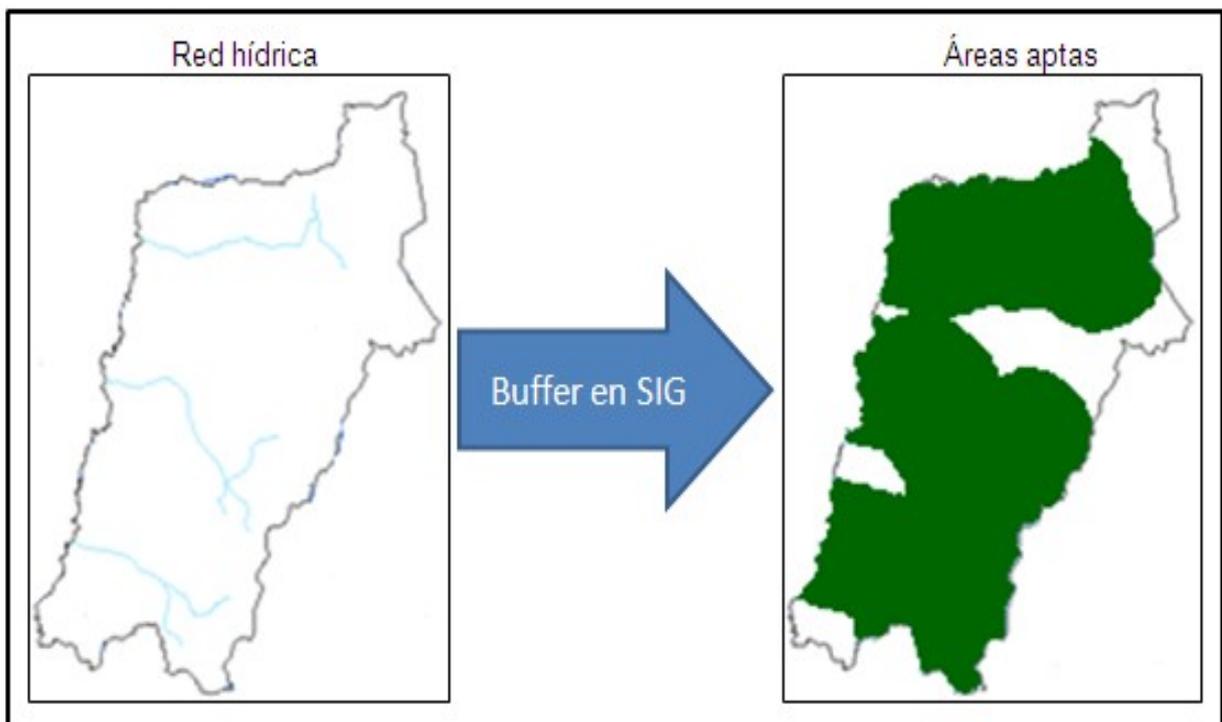
Fuente: elaboración propia

En la imagen de la izquierda se pueden apreciar las zonas bajo protección, como parques nacionales y sitios prioritarios, que están representados en verde claro, mientras que las ciudades están en naranja. Tras el procesamiento en SIG se determinaron las áreas aptas que se presentan en la imagen de la derecha en color verde.

2.7 Red hídrica

Para este criterio se consideraron los principales ríos de la región, como el Salado, Copiapó y Huasco. Las coberturas de los ríos se encuentran a escala 1:250.000 y fueron obtenidas de IGM (2008). Con las coberturas se realizó un análisis de corredores a partir de 50 kilómetros de distancia, tal como fue señalado en el parámetro determinado en el primer objetivo. El resultado de esto se puede observar en la figura 18, que se presenta a continuación.

Figura 18. Áreas próximas a ríos principales



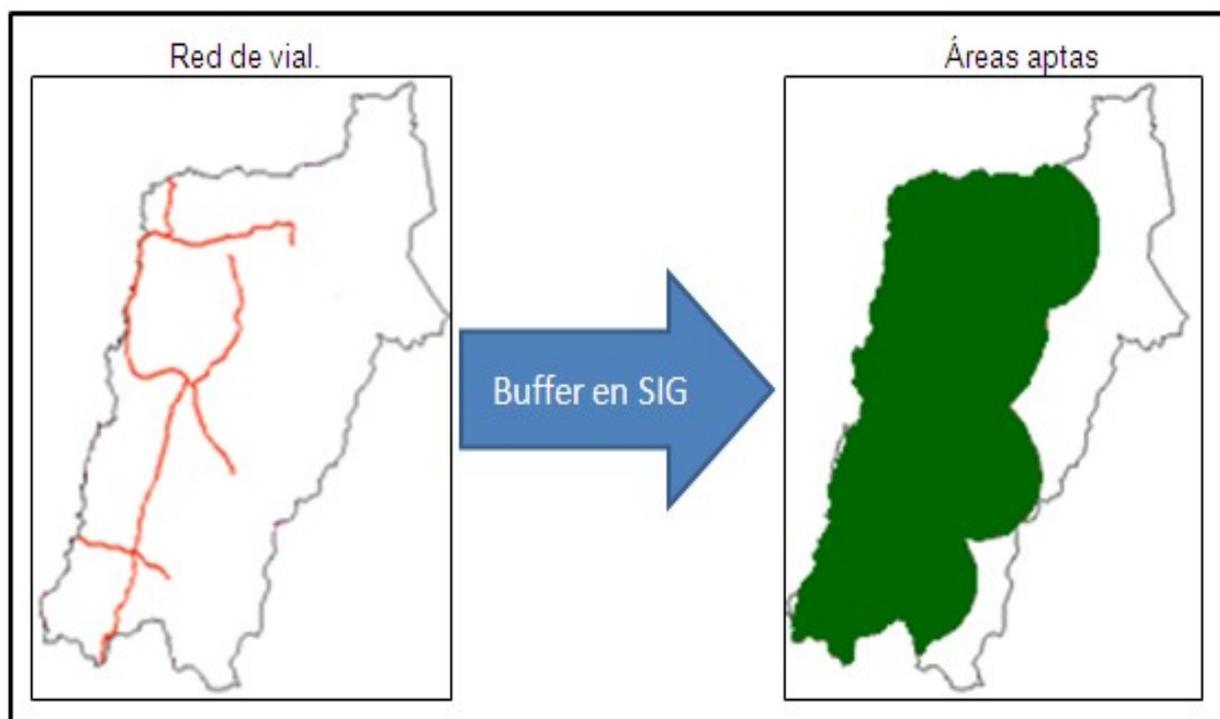
Fuente: elaboración propia

Como muestra la figura anterior, los ríos principales están representados en la imagen de la izquierda. Tras el proceso de generación de corredores de 50 kilómetros, se obtuvo la imagen de la derecha, en la cual se encuentran representados en color verde las áreas con aptitud para la instalación de plantas termosolares, según el criterio de cercanía a la red hídrica.

2.8 Red vial

Este criterio se trabajó sobre la base de las rutas importantes, como la Carretera 5 Norte y la ruta interior Copiapó-Diego de Almagro. Las coberturas, de escala 1:250.000, fueron obtenidas de IGM (2008) con lo cual se generó, a través del análisis de corredor, un polígono de 50 kilómetros respecto a la red vial. Este resultado se muestra en la figura 19 que se presenta a continuación.

Figura 19. Áreas próximas a rutas principales



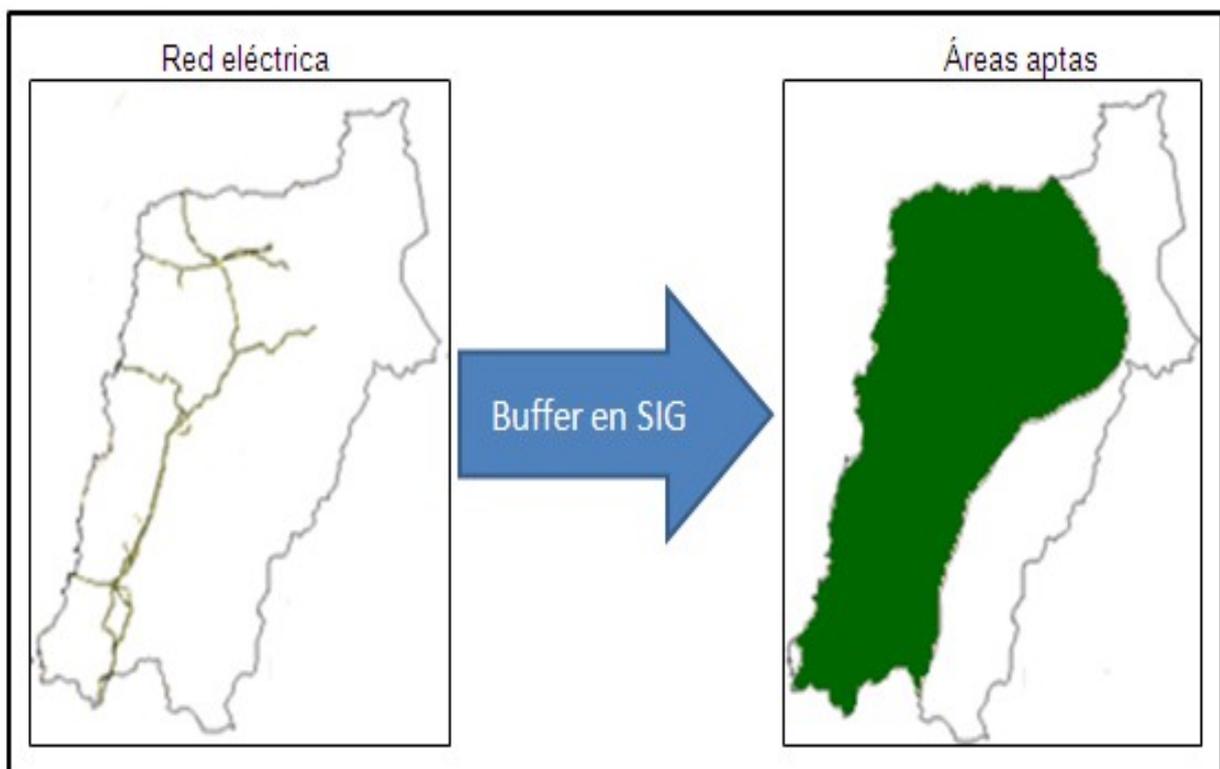
Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior, la imagen de la derecha representa las principales rutas de la III Región de Atacama, estas sirven de conexión con las principales ciudades. Tras el análisis de corredores, se pudo obtener la imagen de la derecha, en el cual se identifican las áreas de color verde, que corresponde a las zonas con aptitud para la instalación de plantas termosolares, según el criterio de proximidad a red vial.

2.9 Red eléctrica

La cobertura de este criterio se generó a partir de la digitalización en Google Earth® de las redes eléctricas con una tensión superior a los 220kv, tomando como referencia el mapa de red eléctrica de la Región de Atacama en el sitio web de la Comisión Nacional de Energía. Al tener las líneas georreferenciadas, fueron convertidas a *Shape* para ser trabajadas con el análisis de corredores, generando la cobertura que se muestra en la figura 19.

Figura 19. Áreas próximas a red de alta tensión



Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la figura anterior, la red eléctrica fue sometida al análisis de corredores, de valor 50 kilómetros, a partir de la línea de alta tensión, tal como se especificó en el parámetro de este criterio. De esta manera se generó la imagen de la derecha, en la cual se observa en color verde, las áreas aptas para la instalación de plantas termosolares.

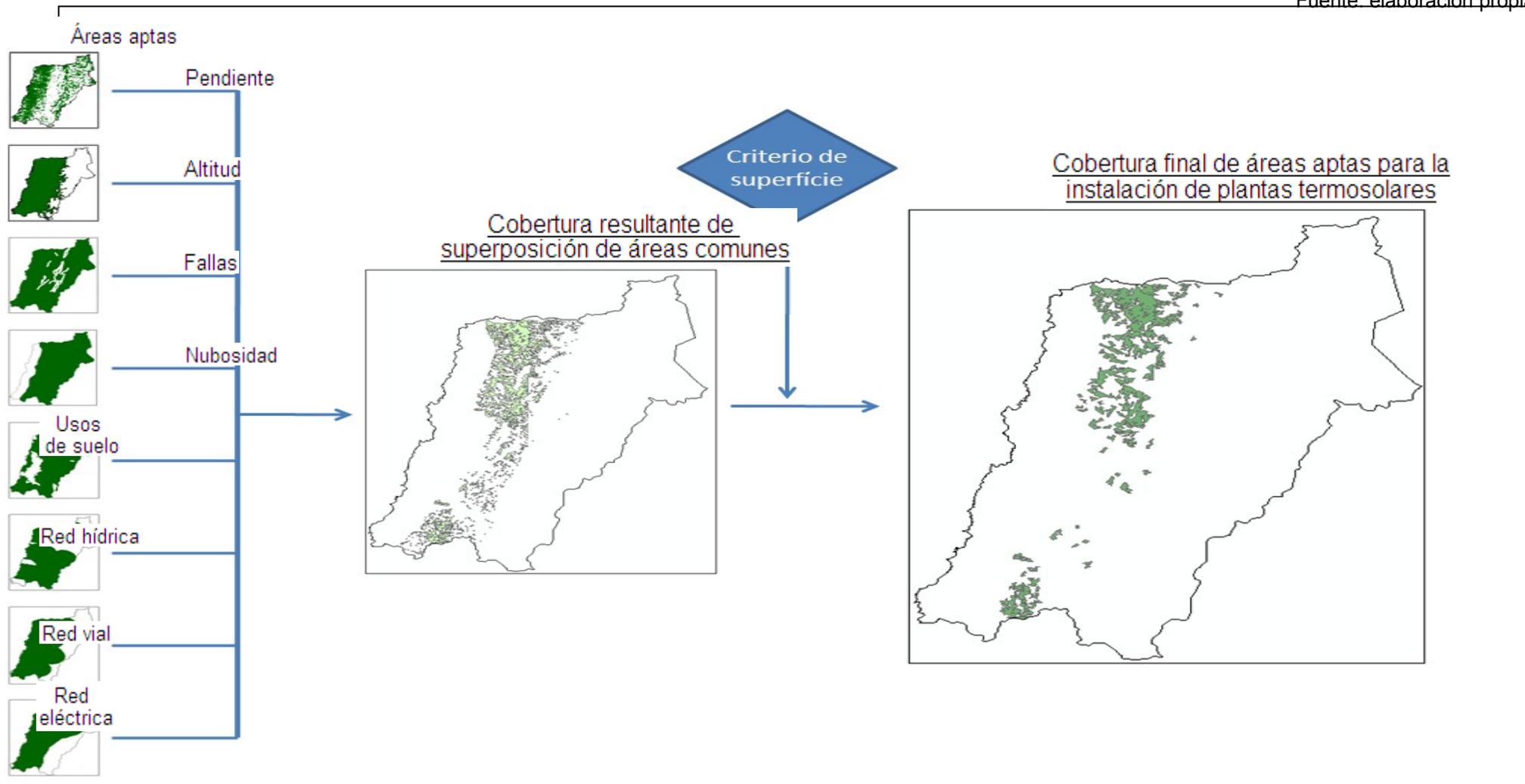
2.10 Superficie

El parámetro de este criterio está referido a la cantidad de kilómetros cuadrados necesarios para que varias plantas termosolares puedan instalarse, rentabilizando la localización de éstas. La superficie, determinada en el objetivo uno, fue de 500 hectáreas, equivalentes a 5 km².

Se determinó dejar este criterio para el final, ya que para aplicarlo, fue necesario obtener primero la cobertura de la intersección de los resultados parciales de los criterios anteriores. El procedimiento se realizó a través de la superposición de imágenes, intersectando los polígonos comunes de las coberturas de áreas aptas generadas con anterioridad. El resultado de esto fue una cobertura de áreas potenciales de emplazamiento, pero con las superficies menores a 5 km² incluidas. Fue en ese momento en que se aplicó el criterio de superficie, desechando todas áreas menores a 500 hectáreas, generando como resultado una cobertura sólo áreas superiores a los 5 km². Este procedimiento, más la aplicación del criterio de superficie, se muestra en la figura 20, de la página siguiente.

Figura 20. Esquema del proceso metodológico para encontrar áreas aptas aplicando los criterios y parámetros de localización.

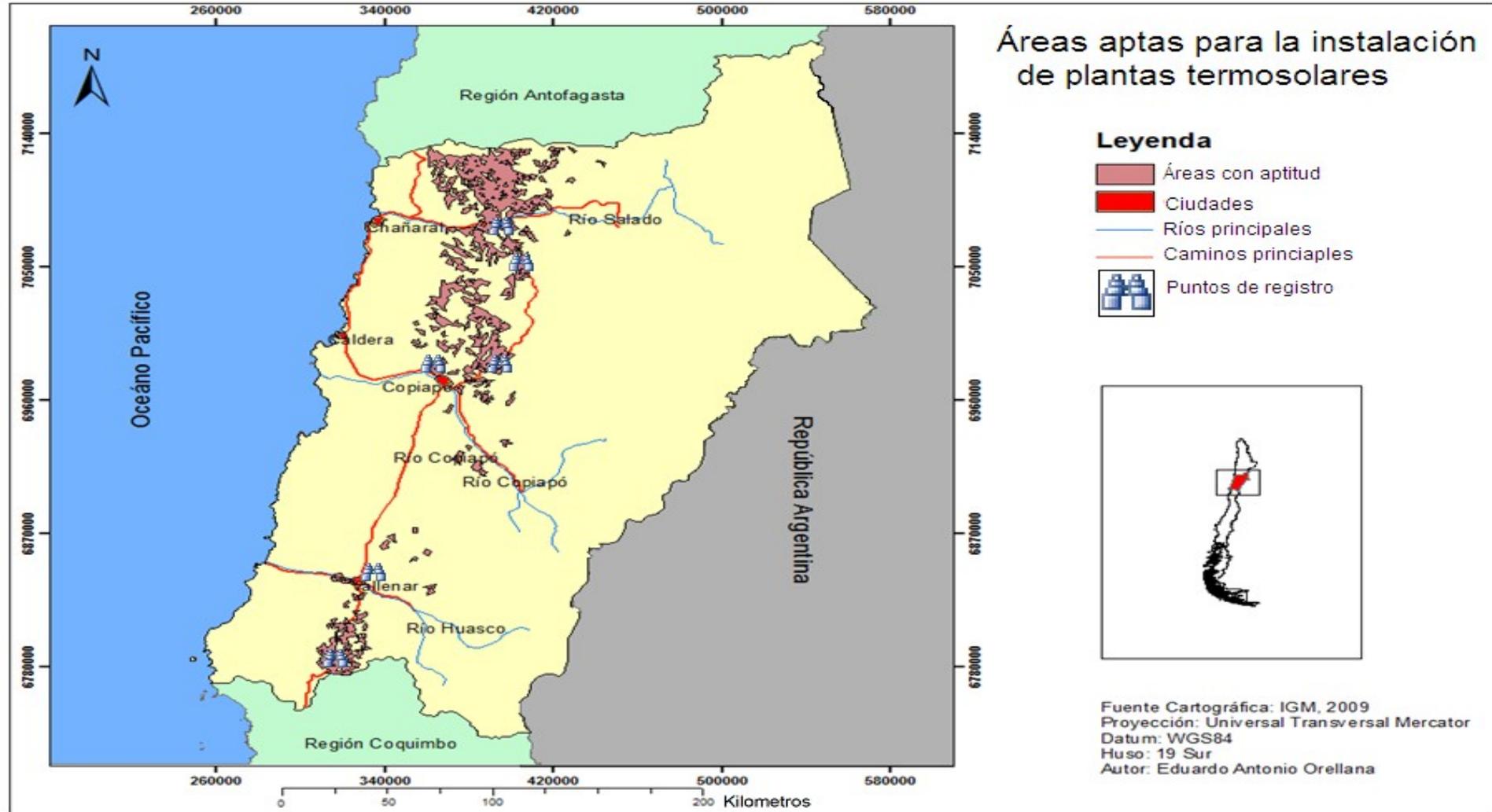
Fuente: elaboración propia



La figura de la página anterior muestra el proceso metodológico realizado para obtener las áreas aptas para la instalación de plantas termosolares. Esto se realizó a través de las coberturas de aptitud de cada criterio, las cuales están representadas en color verde en los cuadros a la derecha de la imagen, ordenadas de arriba hacia abajo, de la siguiente manera: pendiente, altitud, fallas geológicas, nubosidad, usos de suelo, red hídrica, red vial y red eléctrica. Tras la superposición de áreas comunes y la aplicación del criterio superficie, se generó la cobertura final de áreas aptas, las cuales corresponden a un total de 77 áreas, que cumplen con todos los criterios y parámetros de localización. Sus superficies van desde los 5 a los 1.542 km². La sumatoria de ellos da como resultado 3.857 km² de zonas aptas, las cuales se distribuyen a lo largo de la región en una franja que va desde el límite con la Región de Antofagasta hasta el límite con la Región de Coquimbo, con un ancho máximo de 50 kilómetros en la zona de la depresión intermedia, colindante con la cordillera de la Costa. Además, se aprecia una zona entre Vallenar y Copiapó, en la cual el procedimiento metodológico no arrojó resultados positivos de áreas aptas, esto se debió al criterio de usos de suelo, ya que los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad no pueden ser ocupados, al existir allí la zona denominada Desierto florido, en la cual se pueden observar ecosistemas con presencia de flora única y singular (SINIA, 2009).

Con la cobertura final de áreas aptas se generó la carta temática que se presenta en la figura 21, con ella se fue a terreno a visitar dichas áreas, determinando seis puntos de registro que se reparten en las zonas con mayor cantidad de áreas y, que se encuentran cercanas a la red vial principal de fácil acceso. Es por ello que se eligieron dos zonas al sur de Vallenar, otras al este y oeste de Copiapó, la quinta zona en el poblado de Inca de oro y la última en las cercanías de Diego de Almagro, siendo representadas en la carta temática que se presenta a continuación.

Figura 21. Áreas aptas para la instalación de plantas termosolares



Fuente: elaboración propia

3. Visita a terreno

Al tener la carta de áreas aptas se realizó una visita a la región entre el 22 y el 24 de noviembre, en la cual se corroboró la existencia de las áreas y su aptitud para acoger una planta de energía termosolar. Esto se realizó a través de un registro fotográfico que se muestra a continuación.

Figura 22. Primera zona de registro



Fuente: el autor

Esta zona es la más meridional de la región, se encuentra en las coordenadas UTM 6.791833 N y 313.922 O a 742 metros de altitud. Es un área localizada al norte de Cachiyuyo, posee una pendiente menor a 3%, está cercana a la carretera 5 Norte y sus condiciones de radiación son muy buenas, prueba de ello es que existe un área de secado de frutos que son traídos desde el sur.

Figura 23. Segunda zona de registro



Fuente: el autor

Esta área se encuentra cerca de Vallenar, en las coordenadas 6.846.697 N y 330150 O, a una altitud de 560 metros. Esta planicie tiene una gran conectividad, ya que se encuentra a un costado de la ruta 5 Norte y está cerca del valle del Huasco, lo cual facilita la instalación de plantas termosolares.

Figura 24. Tercera zona de registro



Fuente: el autor

Esta área se encuentra al oeste de Copiapó, por la ruta 5 Norte en las coordenadas 6.974.224 N y 332.655 O, a una altitud de 186 metros. Esta planicie se localiza en las cercanías del río Copiapó, lo cual favorece este emplazamiento, ya que se reduce su condición de aislamiento en caso de instalar una planta termosolar en esta zona. Además, se encuentra muy

cercana a la ruta 5 Norte, por lo cual la conectividad se ve muy favorecida, por encontrarse entre dos ciudades importantes, como son Copiapó y Caldera, lo que convertiría a esta zona en un potencial lugar turístico, tal como sucede en Canela, con el parque eólico emplazado en la costa de la Región de Coquimbo.

Figura 25. Cuarta zona de registro



Fuente: el autor

Esta área se sitúa en el kilómetro 15 del camino que une Copiapó con Diego de Almagro, sus coordenadas son 6.985.347 N y 395.695 O, a una altitud de 1.171 metros. Esta zona es una de las más grandes planicies que se encontró en la visita a terreno, la cual es cruzada por la ruta ya mencionada y una línea férrea

abandonada. Además, las líneas de alta tensión se encuentran muy cercanas, por lo que la conectividad de esta área se ve bastante favorecida.

Figura 26. Quinta zona de registro



Fuente: el autor

Esta zona se encuentra en la localidad de Inca de oro, en las coordenadas 7.050.622 N y 406.211 O, a una altitud de 1.291 metros. Esta es la planicie más grande que se vio en terreno. Posee cielos muy despejados, aprovechados por un observatorio astronómico que se localiza en la zona.

Figura 27. Sexta zona de registro



Fuente: el autor

Esta fue la última zona en visitar, se encuentra en las cercanías de la ciudad de Diego de Almagro, en las coordenadas 7.075.564 N y 399.742 O, a una altitud de 974 metros. Esta planicie se encuentra a un costado de la ruta Copiapó-Diego de Almagro y su gran potencialidad es la cercanía con el río Salado y un área urbana.

Gracias a esta salida a terreno a la región, se pudo identificar las zonas que fueron establecidas a través del SIG, observándose una concordancia con lo que mostraban los resultados y lo visto en terreno, ya que todas las áreas cumplían con los criterios y parámetros que se habían determinado en este seminario, pudiéndose corroborar lo hecho previamente a través de la metodología planteada.

VIII. Conclusiones y recomendaciones

La crisis energética, la generación eléctrica con combustibles fósiles y la independencia energética fueron los grandes problemas que se plantearon en este seminario, concluyendo que dichas problemáticas pueden ser solucionadas con una diversificación en la matriz eléctrica dándole mayor auge a las ERNC, como lo es la energía termosolar.

El objetivo de este trabajo fue hallar las áreas con aptitud para la instalación de plantas termosolares en la III Región de Atacama, lo cual se logró a través del proceso metodológico de superposición de áreas aptas comunes de cada criterio planteado.

Tras este trabajo metodológico se puede concluir que la III Región de Atacama cuenta con 3.857km² de áreas aptas para instalar plantas de energía termosolar, lo que equivale a un 5,1% de la superficie de regional, por lo cual se rechaza la hipótesis, la cual decía que en la III Región de Atacama existen al menos un 20% de áreas que cumplirían con los requisitos geográficos necesarios para la instalación de plantas de energía termoeléctricas solares. El bajo porcentaje de áreas aptas resultantes, respecto al esperado en la hipótesis, se debió a la incorporación de variables como sitios prioritarios, áreas en la cual las condiciones geográficas posibilitaban la instalación de plantas termosolares, pero estaba restringida por el criterio de uso de suelo.

Aunque somero, este análisis, puede convertirse en el primer antecedente, que se tome en cuenta, al momento de iniciar un proyecto de estas características en la región. Lo que se recomienda, posterior a este trabajo, es buscar las mejores áreas dentro de las zonas planteadas, teniendo en consideración, en primer lugar, el criterio de radiación solar directa, ya que es el combustible principal de las centrales termosolares y sin ella el proyecto se vuelve inviable. Una vez determinado eso, se deben hacer estudios más detallados de topografía y cercanía a recursos e insumos, además del estudio de impacto ambiental, lo cual requiere un mucho más que un investigador, sino de un equipo multidisciplinario que se preocupe de cada aspecto del estudio en detalle.

IX. Bibliografía

- **Barredo**, José Ignacio. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Editorial RA-MA, Madrid, España, 1996.
- **CASEN**, *Resultados de la encuesta Casen, Energía. 2006* [en línea]. Disponible en: http://www.subtel.cl/prontus_subtel/site/artic/20081001/asocfile/20081001172617/informe_atacama.pdf [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2009].
- **CDEC-SIC**, *estadística de operación 2008*, (2009) [en línea]. Disponible en: http://www.cdec-sic.cl/datos/anuario2009/cdecesp/index_esp.htm [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2009].
- **CGIAR-CSI**, *SRTM 90m Digital Elevation Data*, 2009. [en línea]. Disponible en: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2009].
- **Claval**, Paul. *Eléments de géographie économique Geografía económica*. Editorial Oikos-Tau, 1980.
- **CNE**. *Importaciones de gas natural*. (2008). [en línea]. Disponible en: http://www.cne.cl/estadisticas/nacionales/petroleo/f_hidrocarburos.html [Fecha de consulta: 11 de marzo de 2009].
- **CNE**. *Sistemas Eléctricos*. 2009. [en línea]. Disponible en: http://www.cne.cl/electricidad/f_sistemas.htm [Fecha de consulta: 17 de Marzo de 2009].
- **CNE** *Comisión Nacional de Energía. Gobierno da fuerte impulso a nuevas energías renovables y eficiencia energética. Rural y medio ambiente 2008*. [en línea]. Disponible en: http://www.cne.cl/noticias/rural/f_noti22_08_08.html [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2008].
- **CNE**, *Restricciones de gas desde Argentina*. 2009. [en línea]. Disponible en: http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/12_Utiles/envio_gas/archivos_bajar/grafico_restricciones_2004-2009.pdf [Fecha de consulta: 1 de junio de 2009].
- **CNE/GTZ**, *Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno*, 2009. [en línea]. Disponible en: http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/ER_NC_mercado_electrico_chileno_baja_resolucion.pdf [Fecha de consulta: 1 de junio de 2009].

- **Cohen, Gilbert.** *Final report on the operation and maintenace improvement program for concentrating solar power plants*, 1999. [en línea]. Disponible en: <http://www.p2pays.org/ref/17/16933/1693301.pdf> [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2009].
- **CONAF,** *Parque nacional Pan de Azúcar*.2009. [en línea] Disponible en: http://www.conaf.cl/?seccion_id=1931d2457b8e2991b8f2150b64a59b43&unidad=2 [Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2009].
- **CONAMA,** *Evaluación de daños ambientales y económicos* .2007. [en línea]. de <http://www.conama.cl/biobio/1311/article-40344.html> [Fecha de consulta: 12 de Marzo de 2009].
- **CONAMA.** *Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. [en línea]. Disponible en: <http://www.conama.cl/rm/568/article-931.html> [Fecha de consulta: 01 de octubre de 2005].
- **Daniels, Farrington.** *Uso directo de la energía solar*. Editorial Blume, Madrid, 1977.
- **DGA.** *Diagnóstico y clasificación de los recursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Rio Copiapó 2004* [en línea]. http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Copiapo.pdf [Fecha de consulta: 12 de Septiembre de 2009].
- **ENAP.** *Tabla de precios de paridad. 2009* [en línea]. http://www.enap.cl/opensite_20051129160918.asp [Fecha de consulta: 12 de Marzo de 2009].
- **Entremont, Alan.** *Geografía económica*. Editorial Cátedra, Madrid, 1997.
- **Errazuriz, Ana, González, José, Henríquez, María.** *Manual de Geografía de Chile*. Santiago 1987
- **Falchetta Massimo, Manfredi Carmine.** *Perspectives for Concentrating Solar Power in coastal areas of Mediterranean sea*, 2005, disponible en: <http://192.107.92.31/test/owemes/59.pdf>. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2009].
- **García, Cruz y Lacal, Roberto.** *Energía solar termoeléctrica*. [en línea] Disponible en: www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/solar-termoelectrica-2020-pas.pdf [Fecha de consulta: 01 de octubre de 2008].

- **Garcia**, Xavier. *La energía solar térmica de alta temperatura como alternativa a las centrales térmicas convencional y nuclear*. 2001. [en línea]. Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/docs/IIT-01-125I.pdf> [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2008]
- **Garmendia**, Antonio. *Centrales eléctricas termosolares Genera, parte de Abengoa Solar, Solar power for a sustainable World*. 2008. [en línea]. Disponible en: http://www.madrimasd.org/informacionidi/agenda/foros-mimasd/documentos/energia/A_Esteban_Abengoa_solar_26_02_08.pdf [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2008].
- **Guerra**, José. *Habitar el desierto: Transición energética y transformación de proyectos del proyecto habitacional colectivo en la ecología del desierto de Atacama*, Chile. Tesis doctoral (Doctor en construcciones arquitectónicas), Barcelona, Universidad politécnica de Cataluña, 2003.
- **Gutiérrez**, Julio. *El Desierto florido en la Región de atacama*. 2008. [en línea]. Disponible en: http://www.biouls.cl/lrojo/lrojo03/public_html/libro/15.pdf [Fecha de consulta: 05 de septiembre de 2009].
- **Halacy**, Daniel. *La nueva era de la energía solar*. Editorial Plaza & Janés, Buenos Aires, 1966.
- **Horn**, Christof. *Introducción al uso de la electricidad solar en comunidades rurales*. Instituto de Desarrollo Agropecuario, Santiago, 1991.
- **IGM**, *Geografía III Región de Atacama*, Santiago, 1989.
- **IPCC**. *Cambio Climático Informe de síntesis*. 2001 [en línea]. <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spm-es.pdf> [Fecha de consulta: 12 de Marzo de 2009].
- **IPCC**. *Cambio climático: informe de síntesis*. 2007. [en línea]. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf [Fecha de consulta: 12 de Marzo de 2009].
- **INE**, *Poblacion y sociedad: Aspectos demográficos de la Region de Atacama* 2009. [en línea]. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/demografia/pdf/poblacion_sociedad_enero09.pdf [Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2009].

- **ISSET**, *Global Renewable Energy Potential* [en línea]. Disponible en: <http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/foalien/magdeb030901/> [Fecha de consulta: 31 de octubre de 2009].
- **IV SENESE**, *Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica*. Concepción, Chile. Trabajos presentados: Depto. de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, 1984.
- **Maza**, José. *Astronomía contemporánea*. Editorial Universitaria Santiago, Chile: 1988.
- **Maritappan**, Jason y **Anderson**, Dennis. *Thematic review of GEF-Financed Solar Thermal Projects*. 2001. [en línea]. Disponible en: www.thegef.org/wp_7.pdf [Fecha de consulta: 01 de marzo de 2008].
- **Marchese**, Mario. *Evaluación de impacto ambiental de la central hidroeléctrica de Maqueo*, 2009. [en línea]. Disponible en: <https://www.e-seia.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3630646> [Fecha de consulta: 01 de junio de 2008].
- **MINVU**, *ley general de urbanismo y construcción*, 2009, [en línea]. Disponible en: http://www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx [Fecha de consulta: 01 de marzo de 2008].
- **Mulás**, Pablo. *Visión a largo plazo sobre la utilización de las energías renovables en México: Energía solar*. Centro de Investigación de Energías. Universidad Autónoma de México, 2005. [en línea]. Disponible en: http://portal.energia.gob.mx/webSener/res/168/A6_Solar1.pdf [Fecha de consulta: 01 de octubre de 2005].
- **Ocaña**, Juan. *Crisis del petróleo*. 2003. [en línea]. <http://www.historiasiglo20.org/GLOS/crisispetroleo.htm> [Fecha de consulta: 01 de marzo de 2008].
- **ONU**, *Tecnología para aprovechar la energía solar*, Naciones Unidas, 1979.
- **Osses**, Pablo. *Estudio de clima y proyección climática al 2100 en la provincia de Chañaral* Fundación Chile y División Salvador Codelco Chile Geografía UC-Proyectos. Santiago, 2009.
- **Peral**, V. **Valverde**, Ballestrín. *Receptor solar integrado con caldera de recuperación de gases de turbina*. 1999. Disponible en:

http://usuarios.lycos.es/arquinstal03/publicaciones/otras/bib584_receptorsolar_integrado_con_caldera.pdf. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2009].

- **Rodríguez**, Alberto. *La historia de las matemáticas: Arquímedes, el genio de Siracusa*. 2002. [en línea]. Universidad autónoma de Madrid. Disponible en: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/barcelo/historia/Arquimedes.%20el%20genio%20de%20Siracusa.pdf [Fecha de consulta: 01 de octubre de 2008].
- **Román**, Roberto. *Aplicaciones térmicas de la energía solar*. Universidad de Chile, Santiago, 1977.
- **Romero**, Manuel. *Energía solar termoeléctrica*. 2007. [en línea]. Disponible en: http://www.uib.es/facultat/ciencias/prof/victor.martinez/recerca/jornades/ManuelRomero/CSP_Termoelectrica.pdf [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2008].
- **Romero**, Manuel, *La energía Solar térmica en el contexto energético actual*. 2008. [en línea]. Ministerio de educación y ciencias de España. Disponible en: <http://www.redpilas.csic.es/pilas2005/workshops/workshopsevilla/MRomero.pdf> [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2008].
- **Rozas**, P. *La crisis eléctrica en Chile: antecedentes para una evaluación de la institucionalidad regulatoria*, CEPAL Chile. 1999 [en línea]: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/0/4370/lcl1284e.pdf> [Fecha de consulta: 01 de marzo de 2008].
- **Solnova**, *Evaluación de impacto ambiental de la Planta Solar Térmica SOLNOVA 50 en Sanlúcar la Mayor*, 2007. [en línea]. Disponible en: http://www.eib.org/attachments/pipeline/20070384_nts_es.pdf [Fecha de consulta: 9 de mayo de 2009].
- **Sarmiento**, Pedro. *Energía solar: aplicaciones e ingeniería*. Ediciones. Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, 1995.
- **Sernageomin**, *Mapa geológico de Chile, base geológica escala 1:1.000.000*, 2003.
- **SINIA**, *Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad en la región de Atacama*, 2009. [en línea] Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-37759_pdf_fichas.pdf. [Fecha de consulta: 9 de noviembre de 2009].
- **SINIM**, *Caracterización de la población de la Región de Atacama*, 2009. [en línea] Disponible en: http://www.sinim.gov.cl/indicadores/region/frame.php?id_muni=121&id_area=6&id_subarea=50&selproc=9&primer=1&nreg=ATACAMA

&narea=CARACTERIZACION%20COMUNAL&nsubarea=B.%20POBLACION

[Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2009].

- **Strahler**, Arthur. *Geografía física*. Editorial Omega. Barcelona, 1989.
- **SUBDERE**, *Estrategia nacional de desarrollo. Atacama 2002-2006*. [en línea] Disponible en: www.mideplan.cl/index.php?option=com [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2009].
- **SWERA**, *Solar: annual average direct normal (DNI) map at 40km resolution for South America from NREL*, 2009. [en línea] Disponible en: <http://www.swera.net/index.php?id=metainfo&rowid=233&metaid=334> [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2009].
- **Téllez**, Félix. *Energía solar termoeléctrica: tipologías y primeros pasos del surgimiento comercial*, 2008.
- **Trebellé**, David, *La generación distribuida en España, Tesis de master*. 2006. [en línea]: <http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-06-004.pdf> [Fecha de consulta: 17 de abril de 2009].
- **Universidad de Chile**. *Radiación global Horizontal*. 2006 [en línea]. http://condor.dgf.uchile.cl/EnergiaRenovable/Norte/Mapas/Norte_Chico/jpg/december/rad-mean-december-d00-0m.jpg[Fecha de consulta: 9 de noviembre de 2009].
- **Universidad de Chile**. *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*. 2006 [en línea]. http://www.conama.cl/portal/1301/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf Fecha de consulta: 9 de marzo de 2009].
- **Uriarte**, Antón. *Historia del clima de la tierra*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Euskadi, 2003.
- **Vergara**, Alejandro. *Nueva legislación sobre ERNC*, 2009. [en línea]. http://www.elecgas.cl/pdf/2008/modulo_7/Alejandro_Vergara.pdf [Fecha de consulta: 17 de abril de 2009]

Acrónimos y siglas

- ACHESA: Asociación Chilena de Energía Solar Aplicada
- CLFR: Reflector Fresnel Lineal Compacto
- CNE: Comisión Nacional de Energía
- CO₂: Dióxido de carbono
- CONAMA: Corporación Nacional del Medio Ambiente
- EE.UU.: Estados Unidos
- EIA: Evaluación de Impacto Ambiental
- ENAP: Empresa Nacional del Petróleo
- ERNC: Energía Renovable No Convencional
- GEI: Gas efecto invernadero
- GNL: Gas natural licuado
- GW/h. Giga Watts por hora
- Hp: Caballos de fuerza
- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
- Kcal/cm²: Kilo calorías por centímetro cuadrado
- KW/h/m²: Kilo Watts hora por metro cuadrado
- KW/h: Kilo Watts por hora
- KW: Kilo Watts
- m²: metro cuadrado
- m³/MW/h: metros cúbicos por Mega Watts hora
- MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- MGNC: Medios de Generación No Convencionales

- MW/h: Mega Watts por hora
- MW: Mega Watts
- NO: Oxido de nitrógeno
- Ppm: Partes por millón
- SEGS: Sistema de Generación de Energía Solar
- SENESE: Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica
- SIC: Sistema Interconectado Central.

X. Anexos

Anexo 1

Tipos de plantas de energía termosolar

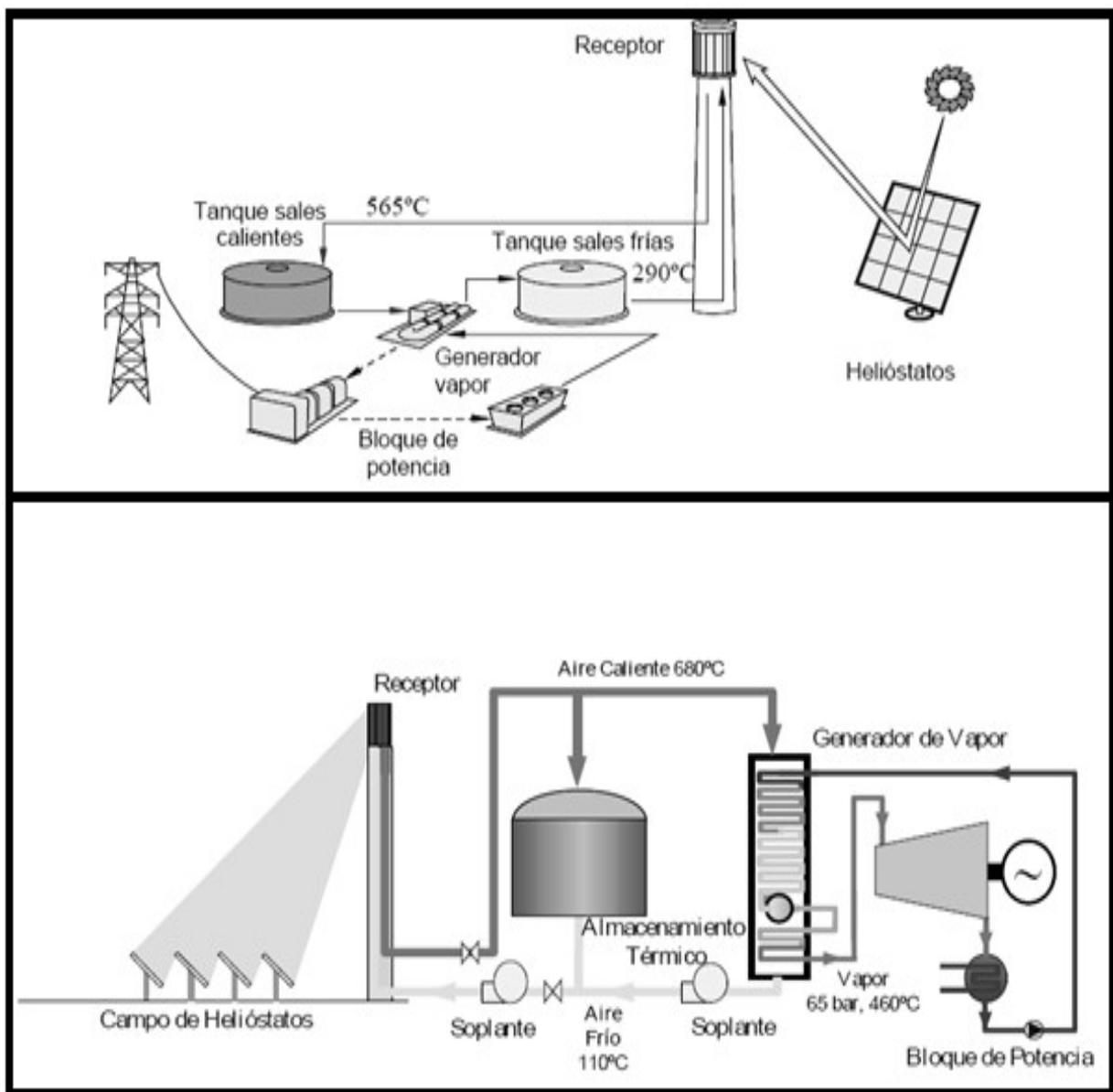
1- Planta termosolar del tipo sistema central o torre central

Los sistemas de torre central utilizan un gran campo de espejos planos con seguimiento en dos ejes, llamados helióstatos, que siguen al Sol para enfocar la radiación solar en un receptor central (intercambiador de calor) montado en lo alto de una torre, produciendo temperaturas aproximadas de 500 a 1.500 °C. Estas plantas son ideales para escalarse en el rango de 30 a 400MW de capacidad. Las eficiencias solar-eléctrica alcanzadas por estas centrales están en el rango de 8 a 13% (Mulás, 2005).

Los altos flujos de radiación incidente, típicamente entre 300 y 1.000KW/h/m², permite trabajar a altas temperaturas e integrarse en ciclos más eficientes de forma escalonada. Además, admiten fácilmente el funcionamiento híbrido, lo que quiere decir que puede producir electricidad con combustibles fósiles. Los fluidos térmicos utilizados, tanto en el receptor como en el almacenamiento, han sido sodio líquido, vapor saturado o sobrecalentado, sales de nitratos fundidas y aire. Todos ellos pueden ser fácilmente representados por diagramas de bloques funcionales, donde las principales variantes vienen determinadas por los fluidos de transferencia de

calor y la interface receptor solar/bloque de potencia mediante los correspondientes sistemas de intercambio de calor y de almacenamiento de energía o hibridación fósil (Romero, 2007). Ejemplos de procesos de potencia con diferentes fluidos se muestran en la figura 1, en la cual el esquema superior corresponde al sistema de potencia que trabaja con sales fundidas utilizado en los proyectos Solar Two y Solar Tres correspondientes a Estados Unidos y España respectivamente. En el Esquema inferior de la figura se presenta el proyecto español PS10, basado en el uso de aire como fluido térmico y un receptor volumétrico abierto a la atmósfera (Romero, 2007).

Figura 1. Procesos de potencia con distintos fluidos de trabajo



Como ya antes se mencionó, las centrales del tipo torre central se aplicaron a partir de la década de 1980, algunas con mayor éxito que otras, pero con gran trascendencia en la evolución de la tecnología termoeléctrica solar. La tabla 1 presenta dicha evolución, destacándose en los últimos años las mejoras en la potencia de las centrales y la variedad de fluidos de transferencia de calor, también se destaca que solo muy pocos países han incursionado en esta tecnología, un ejemplo es el caso de España, en que en el último tiempo ha construido la mayoría de este tipo de centrales (Téllez, 2008).

Tabla1. Proyectos de energía termosolar del tipo torre central

Nombre del proyecto	País	Potencia (Mw/h)	Fluido de transferencia de calor	Año inicio
SSPS	España	0,5	Sodio líquido	1981
EURELIOS	Italia	1	Vapor	1981
SUNSHINE	Japón	1	Vapor	1981
SOLAR ONE	EE.UU.	10	Vapor	1982
CESA-1	España	1	Vapor	1982
MSEE/CAT B	EE.UU.	1	Nitrato de sal	1983
THEMIS	Francia	2,5	Sales	1984
SSPP-5	Rusia	5	Vapor	1986
TSA	España	1	Aire	1993
SOLAR TWO	EE.UU.	10	Nitrato de sal	1996
CENSOLAR	Israel	0,5	Aire	2001
SOLGATE	España	0,3	Aire	2002
PS-10	España	10	Aire	2006
SOLAR TRES	España	15	Nitrato de sal	2009
PS-20	España	20	Aire	2009

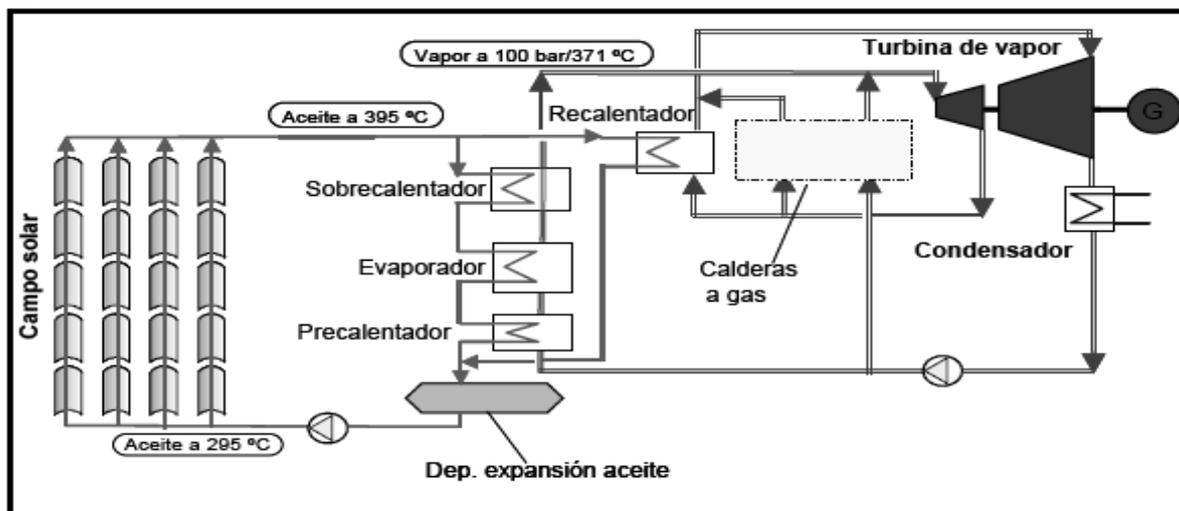
Fuente: Téllez, 2008

2- Planta termosolar del tipo sistema cilindro parabólico

Estos sistemas utilizan espejos en forma de canal parabólicos que enfocan la luz solar sobre receptores tubulares de alta eficiencia, por los cuales circula un fluido térmico. Este fluido, típicamente aceite, es calentado a temperaturas de hasta 400°C y se bombea a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado, el cual acciona una turbina de vapor y un generador eléctrico convencional para producir electricidad (Mulás, 2005). Como cualquier otro captador

de concentración, el cilindro parabólico solo puede aprovechar la radiación solar directa, lo que exige que el colector vaya modificando su posición durante el día. Este movimiento se consigue mediante el giro alrededor de un eje paralelo a su línea focal (Romero, 2007). Los colectores cilindro parabólicos constituyen la tecnología termosolar más empleada hasta la actualidad. Desde la década de 1970 se han implementado instalaciones de colectores para la generación de electricidad y suministro de energía térmica a media temperatura para procesos industriales. En la segunda mitad de la década de 1980 se construyeron nueve centrales termosolares comerciales en California, con una potencia total instalada de 354 MW/h, basados en la tecnología de colectores cilindro parabólicos, que han estado funcionando hasta la actualidad (García, 2001). En la figura siguiente se presenta un esquema clásico del proceso de producción y sus respectivos componentes de las plantas de energía del tipo concentrador parabólico

Figura 2. Proceso de potencia de centrales del tipo concentrador



Fuente: Romero, 2007.

La Tabla 2 contiene un listado de las plantas termosolares del tipo cilindro parabólico, tanto experimentales como comerciales, que han sido implementadas en el mundo desde la década de los ochenta.

Tabla 2. Plantas de Colectores Cilindro Parabólicos en el mundo

Nombre del proyecto	País	potencia MW/h	Fluido de transferencia de calor	Año de inicio
DCS	España	0,5	Aceite	1981
SEGS-I	EE.UU.	14	Aceite	1984
SEGS-II	EE.UU.	30	Aceite	1985
SEGS-III	EE.UU.	30	Aceite	1986
SEGS-IV	EE.UU.	30	Aceite	1986
SEGS-V	EE.UU.	30	Aceite	1987
SEGS-VI	EE.UU.	30	Aceite	1988
SEGS-VII	EE.UU.	30	Aceite	1988
SEGS-VIII	EE.UU.	80	Aceite	1989
SEGS-IX	EE.UU.	80	Aceite	1990

Fuente: Romero, 2007

3- Planta termosolar del tipo disco parabólico

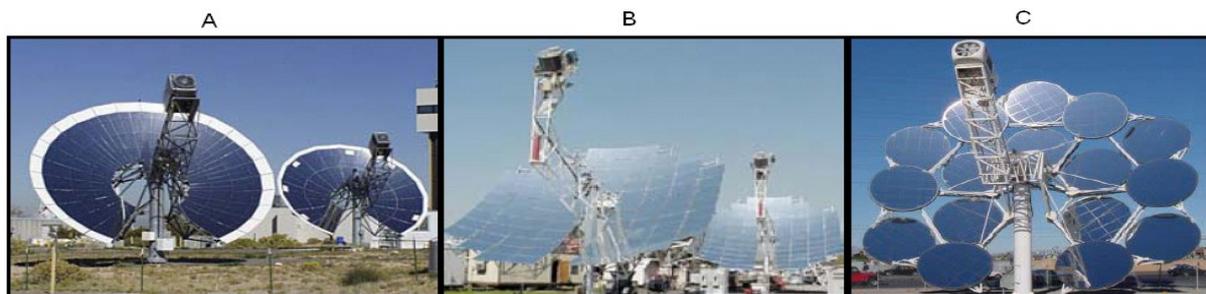
En este tipo de plantas se emplean espejos de forma en discos parabólicos para concentrar la radiación solar en un receptor, colocado en el foco del espejo. El fluido en el receptor se calienta a unos 750 grados Celsius y se puede emplear para producir vapor o, si se trata de un gas, se puede utilizar directamente en un motor Stirling, localizado en el receptor (Trebollé, 2006).

Los motores de ciclo Stirling se utilizan, actualmente, para la conversión de energía térmica a mecánica-eléctrica (Mulás, 2005) y es similar en su funcionamiento a un motor de combustión interna de dos tiempos, pero la diferencia fundamental es que la fuente de calor es externa (Trebollé, 2006). En los proyectos de sistemas modulares se han alcanzado capacidades máximas de hasta 5 MW/h. Cada módulo tiene un tamaño máximo de 50 KW/h. Este tipo de tecnología es, actualmente, la más eficiente de todas las tecnologías solares, con cerca de 25% de eficiencia neta de conversión de la energía solar a eléctrica (Mulás, 2005).

En los Estados Unidos, bajo el proyecto Advanced Dish Development System (ADDS), existen dos modelos de plato Stirling, con 4000 horas de operación al Sol, y una eficiencia solar eléctrica del 25%. Este tipo de proyecto aparece en la figura 3-A. Existen otros proyectos de más de 30 KW como el SAIC/STM, en operación con tres

sistemas, dos híbridos y uno solar, que alcanza una eficiencia solar-eléctrica de 18%. Este se muestra en la figura 3-B. También, en el proyecto Boeing/Stirling Energy Systems Dish Engine Critical existen dos sistemas que utilizan motores de ciclo Stirling (Boeing SES dish), los cuales han reportado 10.000 horas de operación, y una eficiencia solar-eléctrica de 24%(Mulás, 2005).

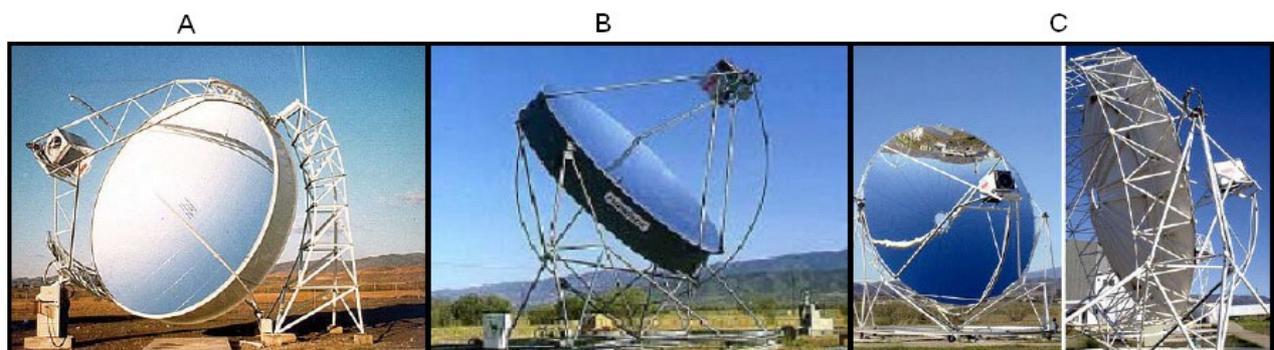
Figura 3. Sistemas plato/Stirling en Estados Unidos



Fuente: Mulás, 2005

En el caso de Europa existen también varios prototipos de plato Stirling, Distal I (financiado por el DLR - y SBP –Schlaich, Bergermann und Partner-) con tres sistemas de 9 KW, instalados en la Plataforma Solar de Almería (PSA) en España, con 20.000 horas en operación y una eficiencia de conversión solar-eléctrica del 20%, este se muestra en la figura 4-A. Un segundo prototipo es Distal II, ambos usan reflectores ligeros de membrana tensionada al vacío, tienen 8,5 metros de diámetro y 10 KW de capacidad eléctrica, el cual se muestra en la figura 4-B. La diferencia entre ambos es que el primero tiene una montura de tipo ecuatorial, que luego fue cambiada a una acimutal en el segundo. Bajo el proyecto EuroDish (Alemania-España), se está desarrollado un prototipo con motor de ciclo Stirling, cuyo objetivo es simplificar y reducir los costos en el concentrador, total integración del sistema de control y la optimización de procedimientos y del diseño del sistema (Mulás, 2005). El sistema Euro Dish se muestra en la figura 4-C.

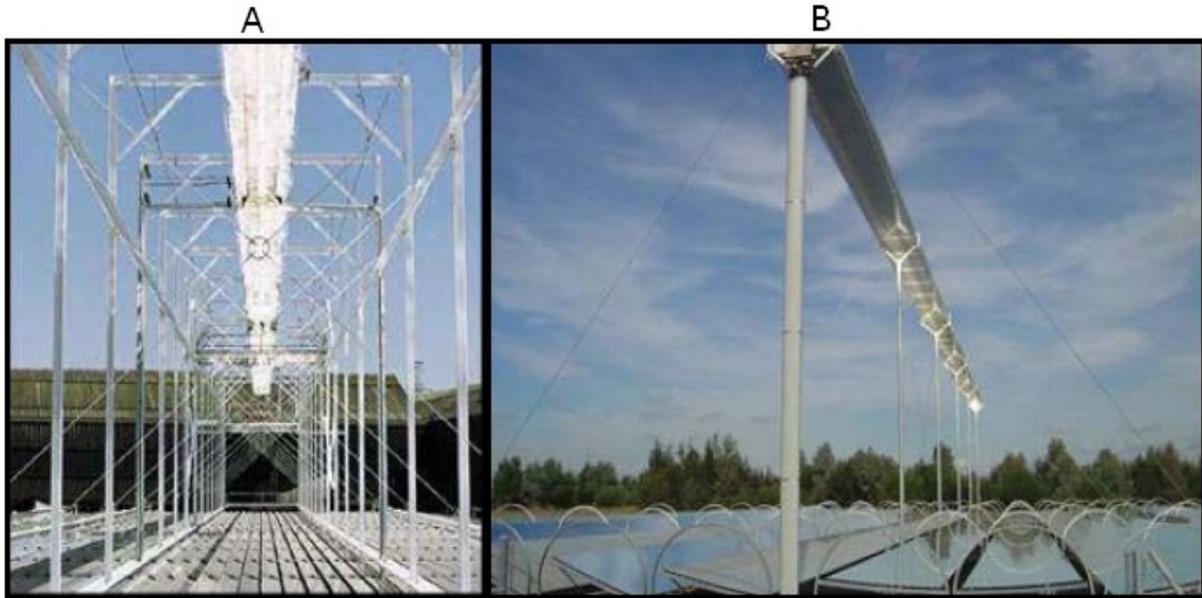
Figura 4. Sistemas de plato/Stirling en Europa



4- **Planta termosolar del tipo Fresnel**

Esta es una tecnología de un solo eje de seguimiento, pero difiere del de canal parabólico porque el absorvedor está fijo en el espacio en la zona focal. El reflector está compuesto de muchos segmentos, largos y delgados de espejo, los cuales giran sobre ejes paralelos, simultáneamente, para enfocar la radiación solar en el receptor. Hay dos prototipos de este tipo de tecnología en el ámbito mundial, el concentrador lineal compacto de Fresnel (compact linear Fresnel reflector, CLFR) y el concentrador lineal de Fresnel de Solarmundo. En el CLFR se supone que habrá muchos receptores lineales paralelos que están muy cercanos entre sí, para que las filas individuales de espejos tengan la opción de dirigir la radiación solar reflejada a dos receptores lineales en torres separadas. Este grado de libertad adicional en la orientación del espejo puede permitir eliminar, casi por completo, el sombreado y bloqueo entre espejos adyacentes. El diseño de Solarmundo, como el CLFR, utiliza una cavidad receptora, sin embargo, tiene un reflector secundario dentro de la cavidad y un solo absorvedor tubular. Este está cubierto por un tubo evacuador y el diseño intenta usar nuevos recubrimientos absorvedores estables. Este sistema puede alcanzar hasta 500°C de temperatura en el tubo absorbedor (Mulás, 2005). En la figura 7-A se puede observar el tipo de concentradores solares Fresnel de Solarmundo, mientras que en la figura 7-B se aprecia el concentrador Fresnel del tipo lineal compacto.

Figura 7. Concentradores solares tipo Fresnel

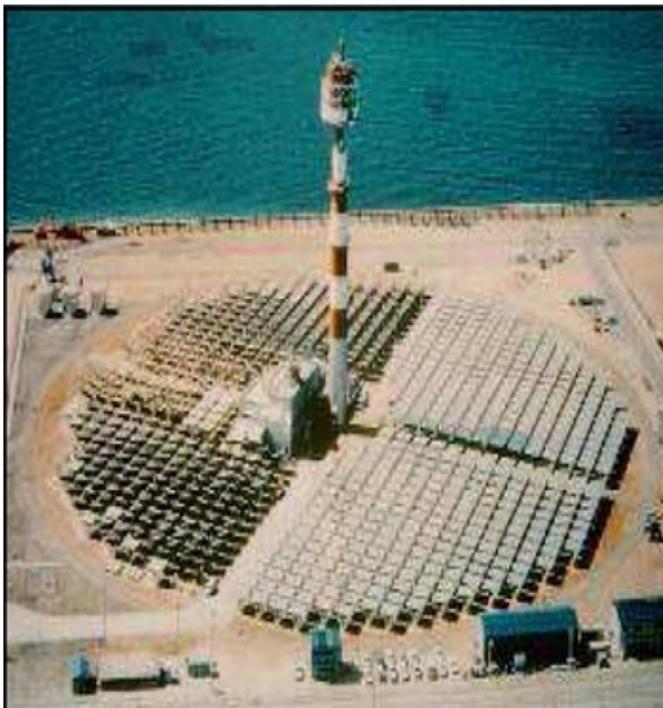


Fuente: Mulás, 2005

Anexo 2

Proyectos termosolares en el mundo

Figura 1. Planta termosolar Sunshine.

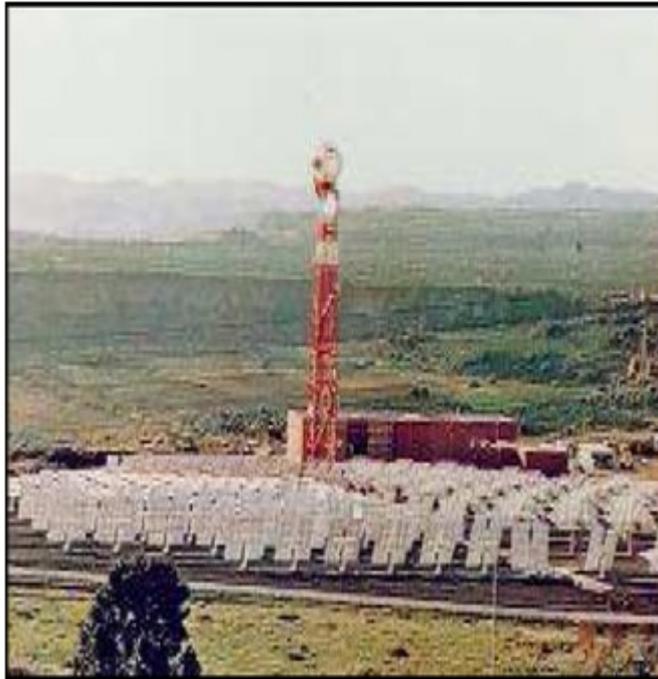


Proyecto Sunshine

Japón fue uno de los primeros países en construir una planta termosolar. Esta se llamó Sunshine y se ubicó en Niho, localidad que se encuentra en la prefectura de Yamagushi, ubicándose en los 34° de latitud Norte. Comenzó su

período de operación en septiembre de 1981. Su potencia era de 1 MW/h, poseía 12.900 m² de helióstatos, y funcionó durante tres años (Peral, Valverde, 1999). En la figura 1 se puede apreciar una vista aérea de la planta.

Figura 2. Planta termosolar Eurelios

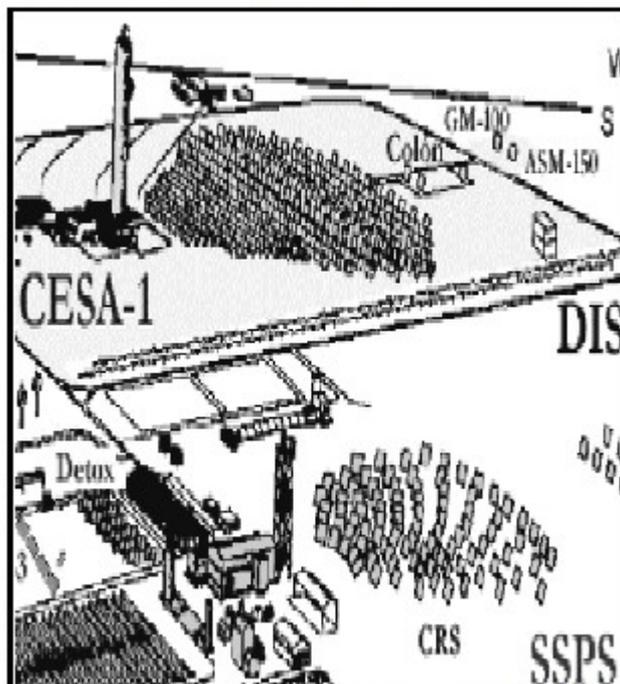


Fuente: Téllez, 2008

Proyecto Eurelios

La central fue construida en Sicilia (Italia). Comenzó su operación en 1983. Aunque en principio fue diseñada para una potencia de 1 MW/h, por recortes presupuestarios el campo de helióstatos fue reducido y, tan sólo, llegó a producir 750 KW/h. Esta fue la primera central de torre en funcionamiento (Peral, Valverde, 1999).

Figura 3. Planta termosolar SSPS/CESA



Fuente: Téllez, 2008

Proyecto SSPS/CESA

La central está ubicada en la Plataforma Solar de Almería, España. Entró en operación en 1983, con una potencia de 1,2 MW/h, y poseía 90 heliostatos. El receptor era de sodio fundido, que alcanzaba temperaturas de 520 °C (Peral, Valverde, 1999).

Figura 4. Planta Solar One-Solar Two



Fuente: Téllez, 2008

Proyecto Solar One/Two: la central Solar One, situada en Barstow (California, EE.UU.), entró en operación en 1984, con una potencia de 10 MW/h, ocupaba 71.500 m² de heliostatos. No poseía almacenamiento térmico y, en un principio, funcionó con vapor de agua. La central Solar Two comenzó a funcionar en 1996, utilizó parte de la infraestructura de Solar One (torre y helióstatos). Su receptor era de sales fundidas y poseía un almacenamiento térmico de tres horas (Peral, Valverde, 1999).

Figura 5. Planta termosolar SES-5

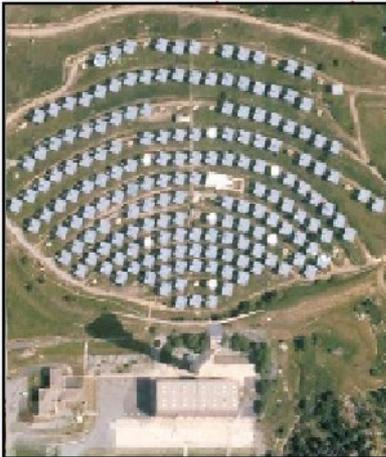


Fuente: Téllez, 2008

Proyecto SES-5

Esta central heliotérmica estaba situada en la costa de Crimea (Rusia). Entró en funcionamiento en septiembre de 1985. Poseía un receptor de vapor de agua y generaba 5 MW eléctricos con 40.000 m² de helióstatos (Peral, Valverde, 1999).

Figura 6. Planta termosolar Themis



Fuente: Téllez, 2008

1999).

Proyecto Themis

Situada en Targassonne (Francia), próxima al horno solar de Odeillo. Poseía un receptor de sales fundidas generando 2,5 MW eléctricos, con 11.800 m² de heliostatos. Produjo electricidad desde 1983 hasta 1986, deteniendo su generación el 30 de septiembre por falta de rentabilidad, en parte debido a problemas con el precio del líquido refrigerante (Peral, Valverde,

Figura 7. Planta termosolar Weitzman



Fuente: Téllez, 2008

Proyecto Weitzman

La operación de la planta del Instituto Weizmann de Israel comenzó en marzo de 1989. El receptor es de tipo cavidad, con forma hexagonal y constituida por tres paneles absorbentes. El fluido de trabajo era aire presurizado y producía 0,5 MW/h (Peral, Valverde, 1999).

Proyecto PS-10/PS-20

La central PS-10 fue construida por Abengoa en colaboración con el en Sanlúcar la Mayor. Está conectada a la red y produce energía desde el febrero de 2007. Fue inaugurada oficialmente por

Figura 8 plantas PS-10/PS-20

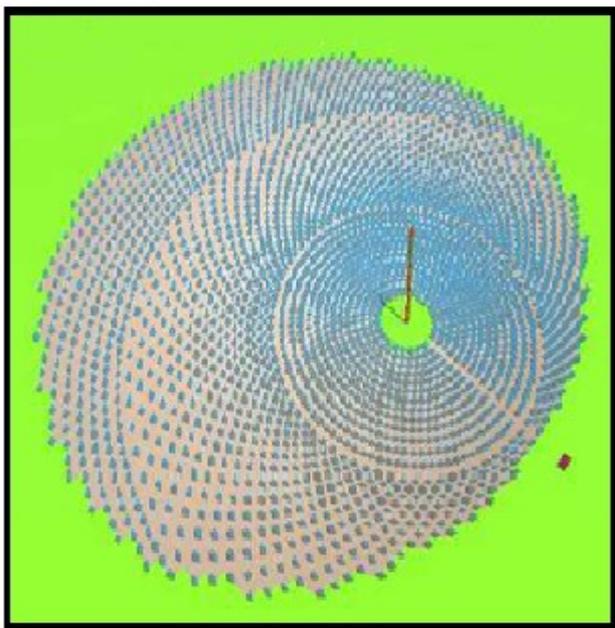


Fuente: Téllez, 2008

CIEMAT
(Sevilla).
eléctrica,
28 de
el

presidente de la Junta de Andalucía, Manuel Chaves, el 30 de marzo de 2007. Se prevé una vida operativa de al menos 25 años. Es la primera central de explotación comercial de su tipo. El receptor es de vapor saturado. La potencia es de 11 MW/h (624 helióstatos y torre de 114 metros de altura) y se espera una producción anual de 24,2 GWh. La central PS-20 (con 1.255 helióstatos, torre de 150 metros y receptor de vapor sobrecalentado) cuenta con una potencia de 20 MW/h y se encuentra localizada al oeste de PS-10, está proyectada su implementación para el 2009 (Téllez, 2008).

Figura 9 Planta Solar tres



Fuente: Téllez, 2008

Proyecto Solar Tres

Este proyecto tiene por objeto construir y explotar, en la municipalidad de Fuentes de Andalucía, en Sevilla (España), una planta de demostración a escala comercial, de generación eléctrica, de 17 MW de potencia, mediante un campo de helióstatos de 298.000 m², torre de 130 metros y un sistema de almacenamiento de energía con sales fundidas de 15 horas. Este proyecto está presupuestado para el

año 2009 (Martín, 2009).

Anexo 3

Tabla de consultas a Expertos

Nombre y cargo:

Radiación solar mínima directa: 1.700 Kw h/m ² al año o 4,6 kw h/m ² al día
Comentario:
Pendiente: superficie plana con pendiente menor a 3%
Comentario:
Superficie: mayor a 500 hectáreas o 5 km ²
Comentario:
Agua necesaria: 34 m ³ diarios
Comentario:
Altitud: menor a los 2.800 m.s.n.m
Comentario:
Red eléctrica, hídrica y caminera: distancia máxima de 50 km
Comentario:
Distancia de falla:
Comentario:
Exclusión de zonas protegidas, cuerpos de agua y zonas urbanas
Comentario