



**RED CYTED 714RT0487  
ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN  
PARA IBEROAMÉRICA (E.S.T.C.I.)**

**Informes Finales de las Tareas 1 y 2:**

**“Potencial de Radiación Solar en los Países Objetivo de la Red (Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México)”**

**“Marco Jurídico existente en los Países Objetivo de la Red en relación con los Sistemas Solares Térmicos de Concentración (SSTC)”**



## I. INTRODUCCIÓN

La red CYTED que lleva por nombre “Energía Solar Térmica de Concentración en Iberoamérica” (ESTCI, [www.redcytedestci.org](http://www.redcytedestci.org)), aprobada con la ref. 714RT0487, inició su actividad en el año 2014 con un claro objetivo: fomentar el uso de los sistemas solares térmicos de concentración (SSTC) en los países latinoamericanos participantes en la Red, ya que todos ellos poseen zonas con niveles altos de radiación solar directa. La consecución de este objetivo general se fundamenta en los cuatro objetivos parciales siguientes:

**Objetivo 1:** conocer cuál es el potencial solar que existe en los países latinoamericanos participantes en la Red (Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México), lo cual permitirá poder evaluar la mayor o menor idoneidad de dichos países para la implementación de sistemas solares térmicos de concentración, para cualquiera de las dos principales aplicaciones que dichos sistemas poseen en la actualidad: a) suministrar calor de proceso y b) generar electricidad

**Objetivo 2:** conocer el marco legal que existe en los países latinoamericanos participantes para los sistemas solares térmicos de concentración (SSTC).

**Objetivo 3:** transferir a los países participantes en la Red la experiencia adquirida en España en el campo de los SSTC, mediante seminarios, cursos y eventos de diseminación del conocimiento y de la tecnología.

**Objetivo 4:** diseñar un prototipo de sistema híbrido de pequeña potencia basado en SSTC, que sirva para el autoconsumo en áreas urbanas y periurbanas.

Las actividades planificadas para conseguir estos cuatro objetivos se agrupan en cuatro Tareas, de modo que cada una de las Tareas está plenamente asociada a uno de los cuatro objetivos de esta Red. De este modo, la Tarea 1 está compuesta por todas las actividades relacionadas con el potencial solar existente en los países latinoamericanos, mientras que la Tarea 2 incluye las actividades relacionadas con el marco legal existente en dichos países en relación con los SSTC.

Una vez concluidas las actividades planificadas en las Tareas 1 y 2, se ha realizado este documento como informe final de dichas Tareas, presentando en un único documento la información recopilada por los Grupos participantes en esta Red en relación con el potencial solar y el marco jurídico existentes en los países latinoamericanos objeto (Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México) en relación con los SSTC. La información dada en este documento es de gran utilidad para cualquier entidad que desee promover proyectos de SSTC en cualquiera de estos países, porque conocer el potencial de la fuente primaria de energía que usan los SSTC, la radiación solar directa, es fundamental para evaluar la viabilidad económica de cualquier proyecto de este tipo. De igual forma, conocer el marco legal que afecta a la construcción y operación de este tipo de sistemas, así como al uso o comercialización de la energía que producen, es también de gran importancia para determinar la viabilidad comercial de proyectos que hagan uso de SSTC.

Teniendo en cuenta la complementariedad que poseen las Tareas 1 y 2 de esta Red, se ha estimado conveniente publicar en un documento conjunto sus informes finales, pues de este modo se tendrá dentro de un mismo documento la información relativa al potencial solar y al marco legal, dos aspectos que son de gran importancia a la hora de evaluar la viabilidad comercial que tendría un proyecto comercial de SSTC.

En este documento se incluye en primer lugar el informe final de la Tarea 1 “Potencial de radiación solar que existe en los Países objetivo (Argentina, Brasil, Colombia, Chile y México)”, y en segundo lugar el informe final de la Tarea 2 “Marco jurídico que en dichos países regula la instalación y uso de los sistemas solares térmicos de concentración”. Cada uno de estos dos informes finales está compuesto de una breve introducción seguida de cinco Capítulos (uno dedicado a cada País objeto del Estudio).

La información dada en este documento ha sido elaborada por un nutrido grupo de colaboradores, coordinados por los líderes de los diversos grupos involucrados en las Tareas 1 y 2 de en esta red temática CYTED, cuyos nombres se indican a continuación agrupados por el País de pertenencia:

**Argentina:**

Coordinador: Lic. Luis C. Martorelli. UNLP, FCAG-LOCE y Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires ([Imoptica@yahoo.com.ar](mailto:Imoptica@yahoo.com.ar))

Colaboradores:

Tarea 1: Ing Carlos Alvarez Martini. CIC-CEMECA

Tarea 2: Lic- Luis Martorelli; Tec Agustina Biotti. UNLP LOCE- CIC CEMECA

**Brasil:**

Coordinadores:

Tarea 1: Dr. Celso E. Lins, Universidade de São Paulo ([celsooli@usp.br](mailto:celsooli@usp.br))

Tarea 2: Prof. Dr. Chigueru Tiba , UFPE Universidade Federal de Pernambuco e Luz do Sol Engenharia Solar Ltrda ([tiba@ufpe.br](mailto:tiba@ufpe.br))

Colaboradores:

Tarea 1: M. Sc. Pedro Henrique Silva Bezerra, Dr. Gilles Maag, Dr. Oivaldo José Seraphim

Tarea 2: Dr. N. Fraidenaich, Dra. Olga de C Vilela, Dra. Elielza M S Barbosa, Dr. André F V da Cunha e MSc Rinaldo Melo de Oliveira

**Chile:**

Coordinador: Dr. Rodrigo Escobar, PUC de Chile ([rescobar@ing.puc.cl](mailto:rescobar@ing.puc.cl))

Colaboradores: Redlich García, Alan Pino, Cristián Cortés, Pontificia Universidad Católica de Chile

**Colombia:**

Coordinador: Dr. Marco E. Sanjuan, UNINORTE ([msanjuan@uninorte.edu.co](mailto:msanjuan@uninorte.edu.co))

Colaboradores: Dr. Antonio Bula, Universidad del Norte; Ing. Jesús García, Universidad del Norte

**México:**

Coordinadores:

Tarea 1: Dr. Camilo Arancibia Bulnes, IER-UNAM ([caab@ier.unam.mx](mailto:caab@ier.unam.mx))

Tarea 2: Dr. Iván Galileo Martínez Cienfuegos, FI-UAEMex ([igmartinezc@uaemex.mx](mailto:igmartinezc@uaemex.mx))

Colaboradores:

Tarea 1: Dr. David Riveros Rosas, IGF-UNAM; Dr. Mauro Valdés Barrón, IGF-UNAM

Tarea 2: Dr. Bernd Weber, FI-UAEMex, Dra. María Dolores Durán García, FI-UAEMex

Para más información sobre el contenido de los diversos capítulos que componen este documento debe contactarse con el/los coordinador/es del País correspondiente.

Los autores desean agradecer a las siguientes instituciones la colaboración brindada en el desarrollo de las actividades reportadas en este documento:

- CIC-CEMECA (Centro de Investigaciones en Metrología y Calidad de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina)
- IER.UNAM (Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, México)
- IGF-UNAM (Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, México)
- PUC (Pontificia Universidad Católica, Chile)
- UNLP FCAG-LOCE (Universidad Nacional de la Plata Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas-Laboratorio de Óptica Calibraciones y Ensayos, Argentina)
- UNLP LOCE (Universidad Nacional de la Plata - Laboratorio de Óptica Calibraciones y Ensayos, Argentina)
- UNINORTE (Fundación Universidad del Norte, Colombia)
- UFPE (Universidade Federal de Pernambuco, Brasil)
- USP (Universidade de Sao Paulo, Brasil)

Finalmente, como Coordinador de la Red ESTCI deseo mostrar mi agradecimiento a todas estas personas e instituciones que han participado en la elaboración de este documento, por su esfuerzo y dedicación para que el mismo resulte interesante y útil a las personas que lo lean, y sirva para promover el uso de Sistemas Solares Térmicos de Concentración (SSTC) en los países analizados. Este documento se encuentra disponible gratuitamente en formato PDF en la página web de la red ([www.redcytedestci.org](http://www.redcytedestci.org)) dentro del apartado “Documentos Públicos”.

Eduardo Zarza Moya

Red CYTED “Energía Solar Térmica de Concentración en Iberoamérica”

(Coordinador)





0

**RED CYTED 714RT0487  
ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN  
PARA IBEROAMÉRICA (ESTCI)**

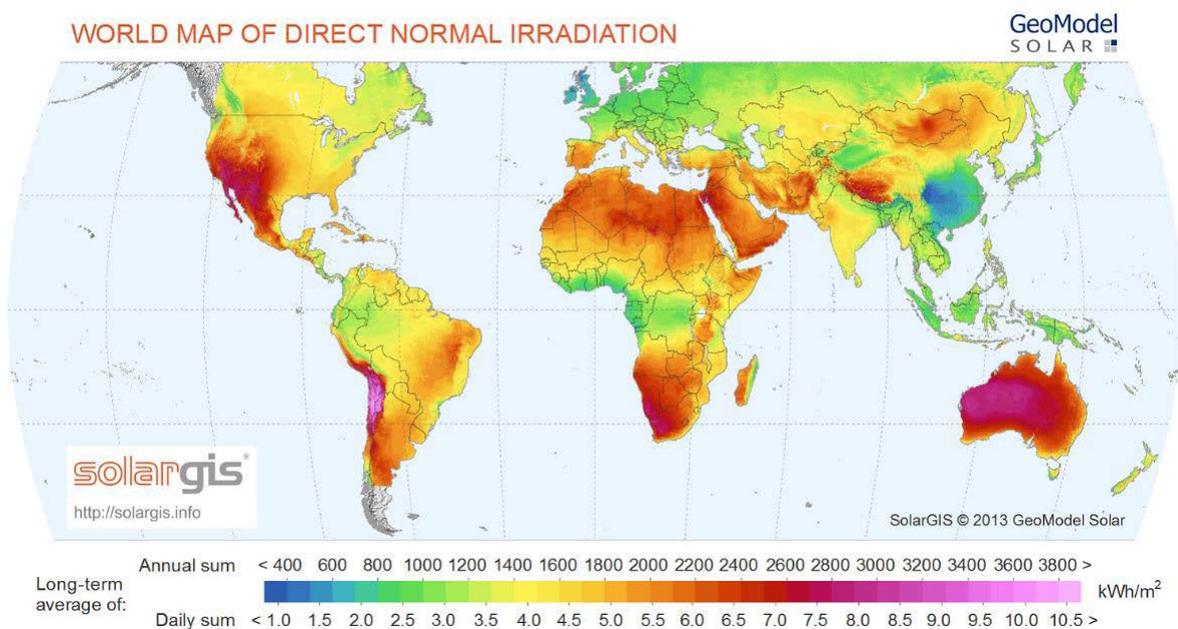
**Informe Final de la Tarea 1:**

**“Potencial de Radiación Solar en los Países  
Objetivo de la Red (Argentina, Brasil, Chile,  
Colombia y México)”**



## I. INTRODUCCIÓN

Tal y como se muestra en el mapamundi de la Figura 1, los cinco países latinoamericanos participantes en esta Red (Argentina, Brasil, Colombia, Chile y México) poseen zonas con un alto nivel de radiación solar directa. Pero la información que facilitan mapas como el mostrado en la Figura 1 no resulta suficiente para evaluar la viabilidad de un proyecto concreto, pues el nivel de detalle es demasiado escaso. Por este motivo se planificó una tarea específica dentro de esta Red, la Tarea 1, cuya finalidad era analizar en detalle qué información existe actualmente disponible en relación con el potencial solar de cada uno de estos países.



**Figura 1. Mapamundi de Radiación Solar Directa (elaborado por GeoModel)**

El estudio y determinación precisa del potencial solar existente en un país es una labor que requiere un gran esfuerzo y un presupuesto específico que están claramente fuera de las posibilidades de esta Red. Por este motivo, lo que se planificó y ha sido realizado es determinar cuál es la información existente en relación con el potencial solar en cada uno de los países objeto. De este modo, la información recopilada dentro de la Tarea 1 pone de manifiesto el grado de conocimiento que actualmente existe sobre el potencial solar en estos países, y se dan las referencias de los documentos y/o bases de datos donde se encuentra la información que actualmente existe para cada uno de estos países.

El trabajo realizado dentro de la Tarea 1 ha mostrado que aunque hay países con zonas en las que las condiciones climáticas hacen presuponer que poseen un alto nivel de radiación solar directa, aún no se ha cuantificado con precisión dicho potencial, e incluso es escasa la información sobre el nivel de radiación solar global. Tal es el caso

de Colombia. En otros países, como Chile o Brasil, ya se comenzó hace algunos años esta labor de medir con precisión el potencial de radiación solar directa existente, lo que permite disponer actualmente de información a este respecto, aunque aún sea incompleta. También existen países, como es el caso de México, donde ya se inició la medida del potencial solar hace tiempo, y en la actualidad se está mejorando de forma importante la red de estaciones meteorológicas que permitirán un conocimiento más preciso del potencial solar existente en las diversas regiones del país. En el caso de la República de Argentina, aunque aún existen escasa información de datos reales de radiación solar directa, la información disponible sobre la radiación solar global y la información satelital permite conocer, aunque sea de forma aproximada, el potencial de radiación solar directa que hay en las diversas zonas del país.

Independientemente de que sea escueta o amplia la información que existe sobre el potencial solar en estos Países, en el informe correspondiente a cada país se explica donde se encuentra dicha información, y cuando y como fue obtenida, así como las actividades que actualmente están en curso con el fin de tener un conocimiento más preciso del potencial solar en ese país.

El informe final de la Tarea 1 de la Red ESTCI se compone de esta breve introducción y de cinco capítulos, cada uno de los cuales contiene la siguiente información:

- Capítulo 1: Información disponible sobre el potencial solar en Chile
- Capítulo 2: Información disponible sobre el potencial solar en México
- Capítulo 3: Información disponible sobre el potencial solar en Colombia
- Capítulo 4: Información disponible sobre el potencial solar en la República Argentina
- Capítulo 5: Información disponible sobre el potencial solar en Brasil

# CAPÍTULO 1

## INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL POTENCIAL SOLAR EN CHILE

### CONTENIDO

1. Introducción.....	2
2. Datos disponibles en estaciones terrestres. ....	3
2.1. Archivo Nacional Solarimétrico. ....	3
2.2. Datos del Servicio Meteorológico. ....	5
2.3. Estación terrestre CNE – GTZ.....	5
3. Modelo de Simulación Climática.....	10
4. La red de estaciones terrestres PUC-FONDEF .....	10
5. Chile-SR, modelo de estimación basado en satélites. ....	15
6. Referencias.....	19

## 1. INTRODUCCIÓN

El gobierno de Chile ha determinado que una cuota de energía renovable de hasta el 10% de la energía eléctrica generada se debe cumplir para el 2024. Este plan ya ha despertado interés en eólica, geotermia, centrales hidroeléctricas y de biomasa con el fin de introducir sistemas de energías renovables al país. Pero no ha habido a larga escala una evaluación de estos recursos, por lo tanto, cualquier planificación energética está seriamente obstaculizada de momento por esta falta de información. La energía solar es usada principalmente en paneles fotovoltaicos para electrificación rural y un creciente mercado para aplicaciones de calentamiento solar de agua, con una superficie instalada en el año 2009 de no menos de 10000 m<sup>2</sup>. En contraste, en el desierto de Atacama en el norte del país existe una de las mejores condiciones para la energía solar, según datos de radiación solar proveniente de diversas fuentes.

La evaluación del recurso solar data desde los años 60 del pasado siglo, cuando la Universidad Técnica Federico Santa María, mediante la compilación de datos alrededor de 90 piranógrafos y dispositivos Stokes–Campbell, que abarca un período de aproximadamente 20 años; una parte importante de esta base de datos tiene una incertidumbre relativamente alta debida a la obsolescencia de los sensores, por lo que es inadecuada para la planificación energética a nivel de política nacional.

Recientemente ha habido un avance importante en la evaluación de los recursos de energía solar para Chile, incluyendo mediciones de una red de estaciones terrestres que abarcan más de tres años de datos, las estimaciones satelitales desde el modelo de Chile-SR recientemente desarrollado, incluyendo tres años completos de datos y simulaciones que evalúan el potencial para la energía solar térmica, fotovoltaica (PV) y la utilización de la energía solar concentrada (CST). El modelo de estimación a partir de información satelital se adapta a la metodología del Brasil-RS con el uso combinado de imágenes de satélite visible e infrarroja (IR), un tratamiento mejorado de datos actualizados de la altitud climática corregida y un cálculo de la cubierta de nubes efectiva que permiten la estimación de la irradiación horizontal global y difusa horizontal sobre una base horaria. La irradiación directa normal (DNI) se calcula a partir de la irradiación horizontal directa mediante la aplicación del modelo de la fracción difusa Boland-Ridley-Laurent (BRL) y correcciones de geometría solar apropiada.

- Mediciones de Radiación Solar.

La radiación solar para grandes regiones espaciales puede ser obtenida desde las redes de estaciones terrestres, que proporcionan puntos de medida local, de los que se puede obtener un mapa por medio de un esquema de interpolación apropiada. Los datos de radiación solar también pueden ser obtenidos por el procesamiento de datos de satélite. El último Atlas Solar de Brasil combinó ambas técnicas de medidas para obtener bajos niveles de incertidumbre.

Mediciones basadas en piranómetros de estaciones terrestres suelen tener niveles de incertidumbre más bajos que los datos obtenidos por el satélite a través de Modelos de Transferencia de Radicación, aunque esto no se puede garantizar para

ubicaciones entre estaciones, cuyos datos han sido calculados por medio de métodos de interpolación. Sin embargo, se ha demostrado que los niveles de incertidumbre de los datos satelitales respecto a las estaciones terrestre son más altas siempre que la distancia entre estaciones no sea mayor a 35 kilómetros. Entonces, aunque para Chile hay varias bases de datos de mediciones en el terreno, un modelo de simulación meteorológica y datos obtenidos por satélite, ninguna de estas fuentes de datos de producción local es completamente válida y, por tanto, era necesario un esfuerzo nacional de evaluación del recurso solar, lo que motivó el inicio de una investigación específica que se viene desarrollando desde hace unos años. Como resultado, una red de estaciones terrestres se ha desplegado en lugares de interés científico, tales como lugares de gran altitud, lagos de sal, el terreno cubierto de nieve, y otros.

Una modificación de un modelo de estimación de satélite existente se ha desarrollado, basándose en el modelo de Brasil-SR parcialmente desarrollada por los investigadores en el (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales) INPE de Brasil, y la introducción de diferentes tratamientos para las variables meteorológicas y los cálculos de cobertura de nubes efectivas.

## **2. DATOS DISPONIBLES EN ESTACIONES TERRESTRES**

La información para este estudio está disponible desde tres fuentes:

1. Una base de datos medidos en 89 estaciones terrestres a lo largo de todo el territorio chileno que abarcan datos desde 1961 – 1983.
2. Datos del Servicio Meteorológico Chileno con cobertura desde 1988.
3. Estación recientemente desplegada en Pozo Almonte que recoge datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE) Chilena de acuerdo con la agencia de cooperación Alemana (GTZ).

Además y aunque no es una fuente de estaciones terrestre, se incluyó en esta sección una visión de un modelo de simulación atmosférica también de la CNE, esta vez en colaboración con la Universidad de Chile.

### **2.1. Archivo Nacional Solarimétrico**

La base de datos de las estaciones terrestres está bajo custodia del Archivo Solarimétrico Chileno (NSA), localizado en Valparaíso. Las estaciones no fueron operadas todas continuamente, con un máximo en sus mediciones de 21 años y un mínimo de 2 años. Las mediciones de las estaciones van en rangos de años completos hasta años incompletos, en algunos casos la estación estuvo activa por un período corto de tres meses en un lugar determinado antes de ser movida a otra ubicación. De acuerdo a Pitz – Paal [1], se necesita un mínimo de 8 años de datos medidos para obtener un nivel de incertidumbre del 5%. Por lo tanto, los datos en el Archivo Solarimétrico Chileno pueden tener incertidumbres tan altas como 15% asociado al

período de medición, más la incertidumbre que es inherente al uso del actinógrafo (Piranógrafo). Además la variabilidad temporal de la Irradiancia solar indica que los conjuntos de datos de cinco años pueden ayudar a determinar la radiación solar promedio a largo plazo con un grado razonable de precisión (se estima que la incertidumbre sea ligeramente mayor al 5%), pero no contiene la suficiente información para representar con exactitud la variabilidad de año a año.

Las características de la radiación solar se pueden describir con un alto grado de confianza estadística mediante el análisis de conjuntos de datos de 30 años. Detalles sobre ubicación de estaciones y años disponibles para los datos se muestran en la Tabla 1.

Esta base de datos está disponible en formato de medida mensual para cada ubicación, también los datos horarios son suministrados para un día típico de cada mes, a partir de lo que parece ser un modelo de día claro. Ninguna información adicional es dada respecto a procedimientos estadísticos utilizados para construir las medidas mensuales y ninguna descripción es dada acerca del modelo utilizado para construir los datos horarios. Esta aparente falta de información, más la naturaleza discontinua de los datos impide considerarla como una fuente de datos válida para la planificación de la energía y las actividades de dimensionamiento comercial de plantas solares. Sin embargo todavía puede ser considerada como útil para el propósito general de la clasificación de algunas regiones geográficas como de alta disponibilidad de radiación solar y también para aplicaciones de calentamiento solar de agua si la incertidumbre asociada es aceptable.

Un método Kriging [2], fue utilizado por los autores de este informe para la interpolación de los datos de las 89 estaciones con el fin de crear un mapa de contorno de medias mensuales.

**Tabla1. Años para los cuales se dispone de datos del Archivo Nacional Solarimétrico, en las estaciones terrestres seleccionadas.**

Table of some Solarimetric Station Location and the state of Data Series between 1961 and 1984.		Lat	Long	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
1	Arica	-18.50	-70.17			•	•	•	•	✓	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•								
2	Iquique	-20.22	-70.15					✓	✓	•					•	✓	✓	✓	✓	•							
3	Chuquicamata	-22.32	-68.93	•	✓	•	•																				
4	Calama	-22.47	-68.92												•	✓	✓	✓	✓	•							
5	San Pedro de Atacama	-22.92	-68.18						•	✓	✓	✓	✓		•	✓	✓	✓	✓	•							
6	Antofagasta	-23.47	-70.43									•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•							
7	Copiapó	-27.35	-70.33			•	✓	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•							
8	Vallenar	-28.58	-70.77												•	✓	✓	✓	✓	•							
9	La Serena	-29.90	-71.25												•	✓	✓	✓	✓	•							
10	Ovalle	-30.57	-71.18			•	✓	•	•	•	✓	✓	•	•	•	✓	•										
11	Quillota	-32.17	-71.27																		•	•	•	✓	•	•	•
12	Valparaiso	-33.03	-71.60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•
13	Santiago	-33.57	-70.68				•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	✓	•							
14	San Fernando	-34.60	-71.00				✓	•						•		•	•	•									
15	Talcahuano	-36.62	-73.10					•	✓	•																	
16	Concepción	-36.83	-73.03			•	•	•	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•	•								
17	Pucón	-39.27	-71.97					•	•	•	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•							
18	Alto Palena	-43.62	-71.78							•	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ – Complete year of measures; • – Uncomplete year of measures.

## 2.2. Datos del Servicio Meteorológico.

La Dirección Meteorológica de Chile (DMC, el servicio meteorológico estatal) tiene una serie de piranómetros ubicados en estaciones meteorológicas que cubren las principales regiones del país. En el año 2009, un total de 18 estaciones meteorológicas con piranómetros se habían reportado, alguna de estas hoy en día ya están fuera de servicio debido a los costos de mantenimiento, aunque 9 permanecen activas. La Tabla 2 muestra el nombre de las estaciones, localización y período para los cuales se dispone de datos. Los datos se pueden solicitar directamente a la DMC en su página web [www.meteochile.cl](http://www.meteochile.cl), y están disponibles para el público en un módico precio que cubre los costos de pre-procesamiento. Los datos se toman en intervalos de 10 minutos, por piranómetros que cubren el rango espectral 0.285 – 2.8  $\mu\text{m}$ , y se presenta como la irradiación por hora integrada ( $\text{Wh/m}^2$ ) a partir del cual la irradiación media por hora ( $\text{W/m}^2$ ) se calcula fácilmente, que abarca meses completos o años, como las solicitudes de los clientes, y está provisto en hojas de trabajo de Excel. Los piranómetros de las estaciones que permanecen activas se mantienen adecuadamente y se calibran por el personal de DMC.

**Tabla 2. Ubicaciones y registro de períodos de piranómetros de la DMC.**

Station	Latitude (S)	Registry period
Arica	18°21	Dec 95 to May 2002/Nov 2006 to date
Calama	22°29	Jan 96 to Dec 99/Oct 2004 to date
Antofagasta	23°26	Jan 88 to date
Copiapó	27°18	Jan 88 to Oct 2003
Atacama	27°15	Jul 2006 to date
Vallenar	28°35	Jan 88 to Oct 2003
Pudahuel	33°23	Jan 88 to Dec 2005
Quinta Normal	33°26	Jan 2006 to date
Hidango	34°06	Jun 89 to Mar 2004
Curicó	34°58	Sept 95 to 2007
Cauquenes	35°58	Jan 90 to Jan 2001
Concepción	36°46	Jan 92 to date
Los Angeles	37°24	Jan 96 to Dec 2001
Temuco	38°45	Jan 96 to Dec 2001
Puerto Montt	41°25	Jan 95 to date
Chaiten	42°55	Jan 96 to May 2001
Coyhaique	45°35	Mar 89 to date
Punta Arenas	53°00	Jan 98 to date

## 2.3. Estación terrestre CNE – GTZ.

La Comisión Nacional de Energía Chilena (CNE) pidió a la agencia de cooperación alemana (GTZ) llevar a cabo una serie de evaluaciones de energía renovable, incluyendo el potencial de la energía solar. Se instaló una red de tres estaciones terrestres durante el año 2008 en Pozo Almonte, San Pedro de Atacama y Crucero, todas ellas situadas en la parte norte de Chile, en el desierto de Atacama, que

es la zona de Chile que posee el mayor nivel de radiación solar directa. Estas estaciones utilizan tres piranómetros de Kipp&Zonnen CMP11, un registrador de datos, sondas para medir velocidad del viento y temperatura, y son operados por una empresa de consultoría independiente con la base en Arica, aproximadamente 400 km al norte de Pozo Almonte. Un sistema Fotovoltaico proporciona energía eléctrica a cada estación. Un piranómetro mide la irradiancia global horizontal, y los dos restantes están montados en un seguidor solar ST80; la primera medición de la irradiancia global se hace en el modo de seguimiento, y la segunda medición de la irradiancia difusa también se hace en el modo de seguimiento pero cubierta con un anillo de sombra. De esta manera, una estimación de la irradiancia directa en el plano de seguimiento se hace restando la difusa de la lectura global. Los datos están disponibles gratuitamente al público en el sitio web [www.cne.cl](http://www.cne.cl) en formato (pdf) de los informes mensuales. Los informes incluyen datos horarios para un día elegido al azar, datos integrados diarios, y un resumen mensual de valores medios de todos los meses disponibles.

La figura 1 muestra dos vistas de la estación de Pozo Almonte. La estación está situada en una plataforma a nivel del suelo, que está al lado de un edificio y una torre de transmisión de potencia. El piranómetro de la irradiancia global horizontal está instalado en la parte superior de un mástil pequeño, que también alberga la celda de registrador de datos y un panel fotovoltaico. El anillo de sombra que se utiliza es grueso, y ningún factor de corrección se informó para tener en cuenta en la lectura de radiación difusa. Además, no se bloquea la radiación de albedo, y los piranómetros se instalan directamente en la parte superior de una placa de acero, sin protección contra el calentamiento excesivo que se espera debido a los altos niveles de radiación de Pozo Almonte. Por lo tanto, hay varias deficiencias en el diseño, la ubicación y el funcionamiento de estas estaciones que restringen severamente la validez de las mediciones.

La Tabla 3 muestra los errores medios para las principales regiones geográficas de Chile.



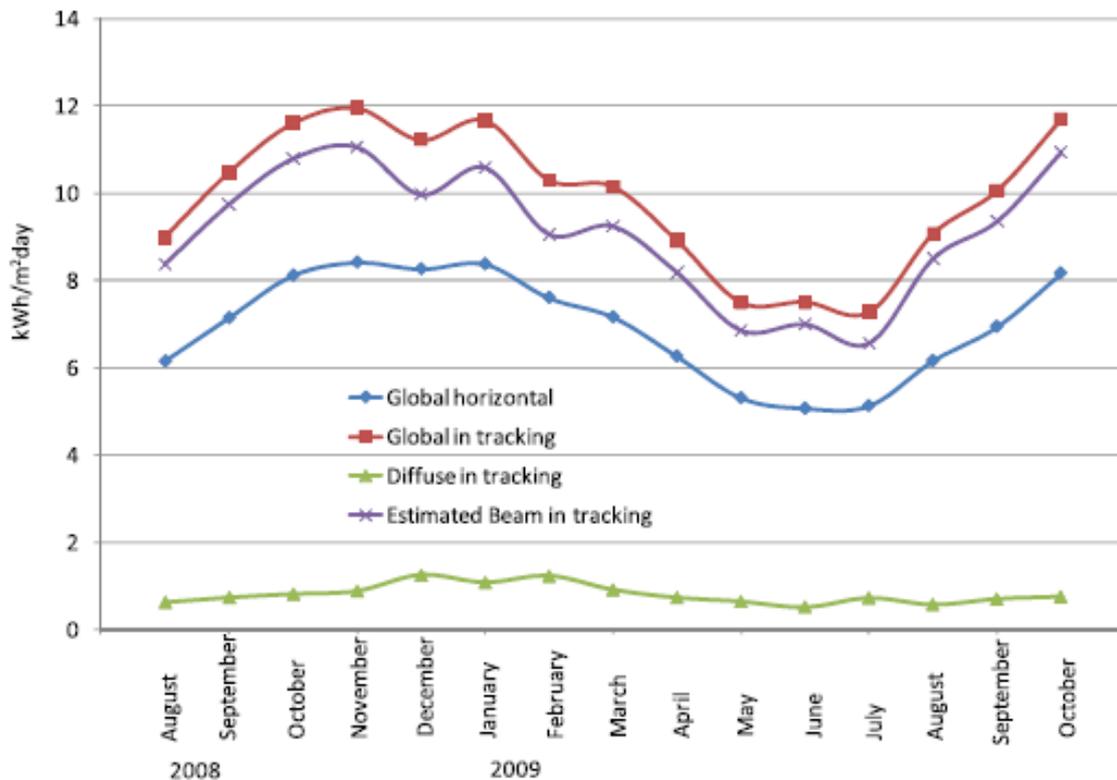
**Figura 1. Vista de la estación CNE – GTZ y sus alrededores y el detalle de los piranómetros usados en el modo de “Seguimiento”**

**Tabla 3. Valores de errores medios para las tres principales regiones geográficas de Chile**

Zone	RMSE	MBE	MPE
North	17.99	-2.3	-0.66
Center	28.82	17.22	10.17
South	31.71	24.67	18.38
All	25.01	9.57	7.26

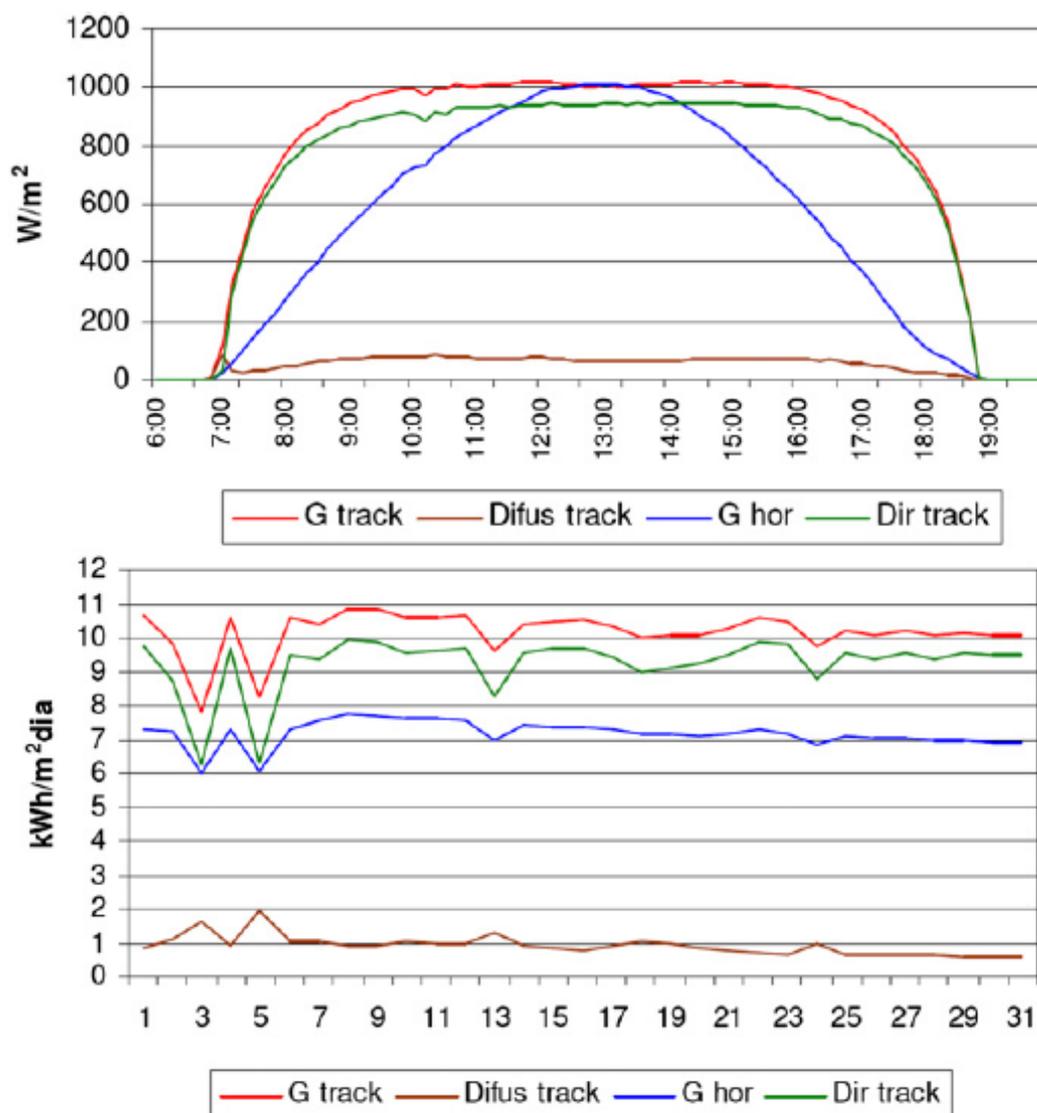
La figura 2 muestra las medias mensuales medidas en Pozo Almonte desde agosto 2008 - octubre 2009, que son los datos más recientes publicados.

La figura 3 muestra los datos de la estación en Pozo Almonte en marzo de 2009. La primera parte corresponde a la irradiancia de datos para un día determinado, incluyendo la medida horizontal global, tanto la global y la difusa medidas en modo de seguimiento, y la directa calculada en el modo de seguimiento. La segunda parte corresponde a los valores integrados diarios de radiación en todo el mes. Es interesante señalar que el propósito de las estaciones es proporcionar datos suficientes para las aplicaciones de plantas CSP.



**Figura 2. Promedio mensual de radiación total diaria en la estación terrestre de Pozo Almonte**

Finalmente, la figura 4 muestra la ubicación de las diferentes estaciones en el país. Los círculos azules indican estaciones para las que se dispone de datos en el Archivo Nacional Solarimétrico. Las cruces magenta indican las ubicaciones de piranómetros DMC. Las estaciones CNE-GTZ están representadas por los diamantes rojos. Como se puede ver, hay un buen número de lugares para los cuales se dispone de datos, aunque los datos son de calidad variable y abarcan periodos de tiempo interrumpidos.



**Figura 3. Datos de la estación terrestre de Pozo Almonte. Arriba: La irradiancia para un día determinado en marzo de 2009. Abajo: la radiación integrada diaria para marzo de 2009.**

Como se muestra en la figura 4, amplias regiones del desierto de Atacama se dejan sin cobertura de estaciones meteorológicas terrestres y por lo tanto no hay mediciones de radiación solar en esa zona de Chile, que es justo donde se supone y es

ampliamente discutido que se encuentra el mejor potencial de la energía solar en la Tierra.

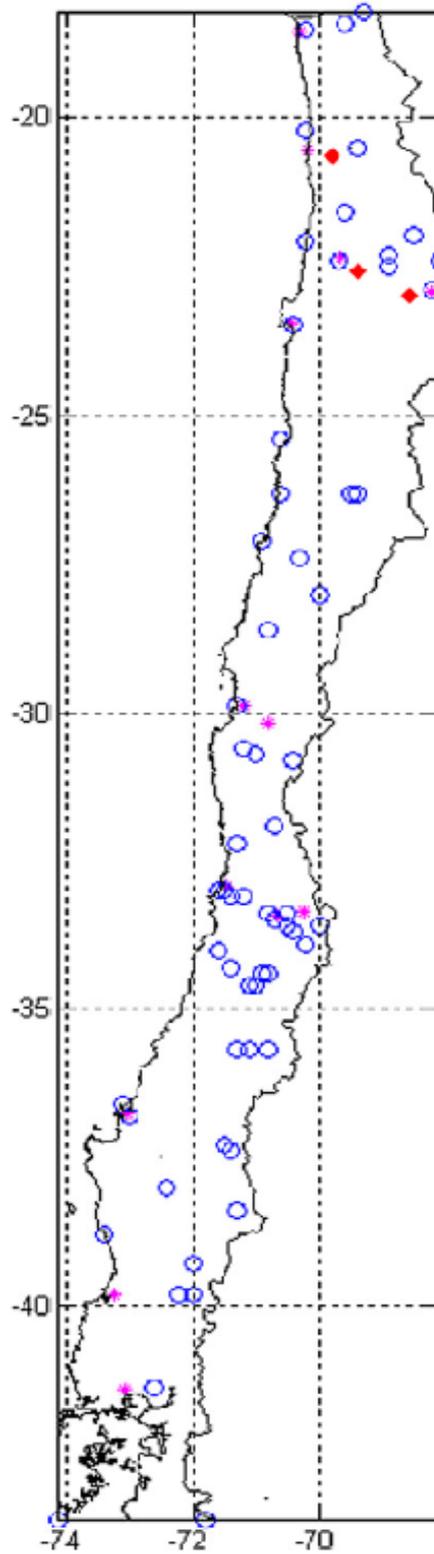


Figura 4. Ubicación de las diferentes estaciones Terrestres. Azul: Archivo Solarimétrico Nacional. Magenta: Servicio Meteorológico Nacional.

### 3. MODELO DE SIMULACIÓN CLIMÁTICA

También por petición de la CNE, un modelo de simulación climática fue preparado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. La simulación utiliza el Modelo de Estudio del Clima y Predicción (WRF, por sus siglas en Inglés) desarrollado por la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA), el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR), y más de 150 organizaciones, universidades de los Estados Unidos y del extranjero. El modelo es inicializado con las condiciones climáticas locales utilizadas como condiciones iniciales y de contorno, y, en general validado por los datos de las estaciones meteorológicas suministrados por la Dirección Meteorológica de Chile. El dominio computacional utilizado en las simulaciones comprende las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, que son las tres regiones más al norte de Chile. La zona es un rectángulo de aproximadamente 1000 km de largo y 400 km de ancho, en lo que se necesita un esfuerzo de cálculo intensivo. Con el fin de simplificar las simulaciones, el dominio más grande se dividió en cuatro más pequeños subdominios de aproximadamente 60.000 km<sup>2</sup> cada uno.

Las simulaciones realizadas por la Universidad de Chile corresponden a los períodos de marzo, junio, septiembre y diciembre de 2006, los cuales fueron seleccionados debido a la disponibilidad de datos de estaciones meteorológicas para la comparación y propósitos de validación. Sin embargo, de acuerdo con los informes del proyecto, los datos de la radiación solar no estaban disponibles en absoluto, y por lo tanto los resultados de la simulación se han comparado con los datos de septiembre y diciembre de 2008 medidos desde la estación terrestre Pozo Almonte, con el que se encontró un acuerdo general. Los datos proporcionados por las simulaciones consisten primero en un promedio del período simulado de cuatro meses siendo, y en segundo lugar, las estimaciones por hora integrados de la radiación, que están disponibles en forma de informes en formato PDF y datos de archivos (.csv). Este último archivo incluye datos horarios para el período de interés (marzo, junio, septiembre y diciembre). Sorprendentemente, la información es reportada en tiempo Greenwich y no en tiempo solar local. Al acceder a la página web, se muestra un aviso de advertencia, que establece (en español): *"Importante: La evaluación de los recursos de energía solar que se presenta en este sitio se basa en la simulación de los resultados numéricos atmosférico, debido a lo cual sólo proporciona una aproximación a la realidad. Se recomienda que el usuario considere este aspecto a la hora de analizar la información"*. En resumen, lo que está siendo presentado es un resultado numérico que no ha sido validado, y que no es estadísticamente representativo de las condiciones reales de la radiación solar en el norte de Chile.

### 4. LA RED DE ESTACIONES TERRESTRES PUC-FONDEF

La red de estaciones terrestres se desplegó a partir del año 2010, y consta de 13 estaciones, 4 de las cuales se diseñan y operan bajo las normas de referencia de la superficie de la Red de Radiación (BSRN), y las 9 restantes son de tres diferentes configuraciones de la rotación de la sombra de la banda radiómetros (RSBR) de

*Irradiance Inc.* La Tabla 4 indica el nombre, tipo y fecha de inicio de la operación de las estaciones, cuyas ubicaciones aproximadas se muestran en el mapa de la figura 5. La mayoría de las estaciones también se operen de acuerdo con la industria y debido a la confidencialidad solo emite la cantidad de información que puede ser compartida, como ubicación exacta, y los datos son limitados. Las estaciones que siguen las normas BSRN se componen de seguidores solares, sensores de sol para un posicionamiento preciso, piranómetros, unidades de calefacción y ventilación, pirgeómetros, pirheliómetros, medidores de UV, así como temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento sensores, todos conectados a los registradores de datos, con fuente de alimentación de la red.

**Tabla 4. Red de Estaciones Terrestres.**

Station name	Type	Start date of operation
1. Arica	RSBR	01/08/2011
2. Pozo Almonte	RSBR	04/04/2012
3. Patache	RSBR	16/01/2013
4. Sur Viejo	RSBR	07/07/2011
5. Crucero	RSBR	16/01/2012
6. Coya Sur	RSBR	05/07/2011
7. San Pedro	Sun tracker	03/12/2010*
8. El Tesoro	RSBR	01/01/2009
9. Diego de Almagro	RSBR	02/08/2011
10. Santiago	Sun tracker	22/12/2010
11. Curicó	Sun tracker	01/06/2012
12. Talca	Sun tracker	09/08/2012
13. Marimaura	RSBR	12/07/2012

\* Decomissioned on dec 2011.

A pesar de que estas estaciones no son parte de la red BSRN, su funcionamiento sigue sus principales directrices para todos los procedimientos pertinentes, así como las actividades de mantenimiento. La configuración básica para los dispositivos RSBR incluye radiómetros fotoeléctricos, un controlador de motor y banda de sombra rotativa, sensores de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, todos conectados a los registradores de datos, con toma de corriente de un sistema fotovoltaico en pequeña escala. Una segunda configuración carece de todos los sensores meteorológicos, para su uso en lugares que ya tienen una estación meteorológica. Una tercera configuración es similar a la primera, con la adición de un piranómetro termopila para una medición redundante de la radiación horizontal global, que se utiliza en los sitios donde las condiciones de radiación son particularmente interesantes y donde es fácil que el personal local pueda realizar el mantenimiento y limpieza del piranómetro termopila. La figura 6 muestra dos configuraciones diferentes de las estaciones terrestres: una RSBR, y una estación de diseño BSRN desplegada en el campo. Estas estaciones tienen el objetivo de suministrar los datos que satisfaga las normas y criterios internacionales para el diseño, operación y mantenimiento, por lo tanto, el suministro de datos para los desarrolladores

y diseñadores de políticas del proyecto, y también para la validación del modelo de estimación satelital Chile-SR que se describe en la siguiente sección. Los certificados de calibración para estas estaciones se mantienen actualizados ya que los sensores son girados con los nuevos, mientras que está previsto aplicarlo directamente a todos los sensores (antiguos y nuevos) a la referencia mundial como lo sugieren las normas internacionales durante 2015. Los algoritmos de clasificación de datos se han adaptado y transferidos desde el INPE hasta la PUC para el análisis de la calidad de los datos de las estaciones.



**Figura 5. Norte y centro de Chile, ubicación aproximada de la red de estaciones terrestres UC-Fondef**

Es posible evaluar la incertidumbre asociada al campo de mediciones de radiación solar, considerando el tipo de sensor, la calibración, el ángulo Zenith,

respuesta espectral, no linealidad, la respuesta de la temperatura, el envejecimiento por año, la exactitud del registro de datos, y el mantenimiento. Utilizando la metodología GUM, es posible estimar que para los sensores termopila la incertidumbre es de hasta 4% para GHI y 2,5% para la DNI, mientras que la incertidumbre para sensores de fotodiodo es 5%. Las comparaciones de laboratorio y de campo para GHI y DNI medidos con sensores de termopila y con dispositivos RSBR mostraron una buena precisión, con desviaciones no mayores de 2% a partir de los valores de la termopila con respecto a los datos RSBR.

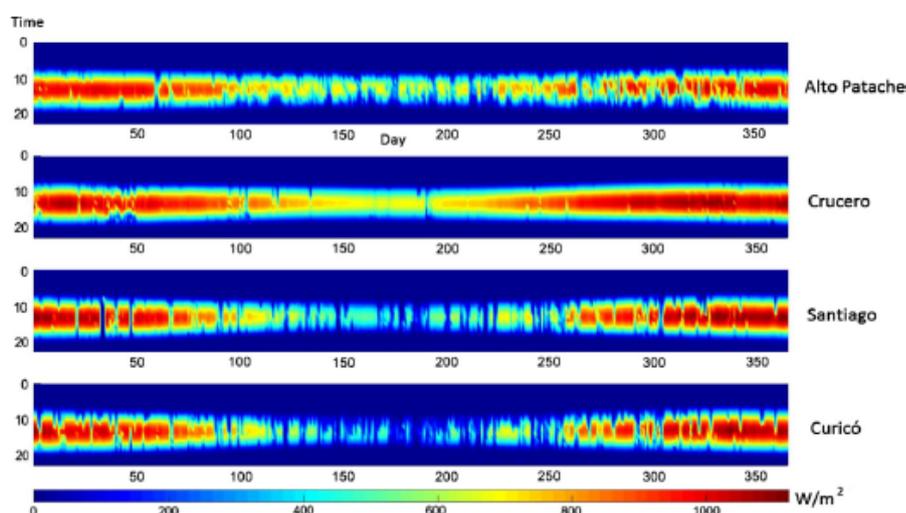


**Figura 6. Estación RSBR en Crucero y una estación con seguidor, pirheliómetro, y piranómetro en Talca**

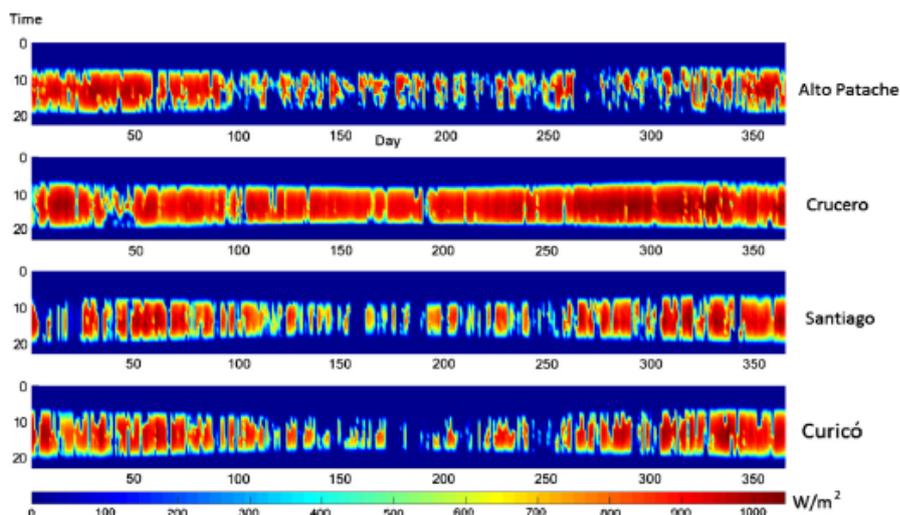
En la figura 7 se muestra los valores totales por hora de GHI y el DNI para cada día del año 2012 en cuatro sitios diferentes: Crucero, ( $22^{\circ}2S$ ,  $69^{\circ}5W$ ), Patache ( $20^{\circ}8S$ ,  $70^{\circ}1W$ ), Santiago de Chile, ubicada en ( $33^{\circ}4S$ ,  $70^{\circ}6W$ ) y Curicó ( $34^{\circ}5S$ ,  $71^{\circ}1W$ ). Crucero es una gran llanura desértica situada en condiciones extremadamente áridas, que tiene un gran interés tanto para la industria termosolar de concentración como la fotovoltaica. Patache es un sitio costero en un microclima llamado *oasis de niebla* donde un fenómeno de una nube estratocúmulos local, entra en el desierto desde el mar y crea una niebla espesa que permite un rico ecosistema para aprovechar a la vez que disminuye en gran medida la radiación disponible. Santiago es la capital de Chile, con una población de 6 millones, que se encuentra en un clima mediterráneo relativamente seco y con episodios de aerosol pesada y la contaminación de partículas durante el invierno. Curicó es una ciudad pequeña insertada en una región agrícola a 200 km al sur de Santiago, que comparte un clima similar aunque no hay contaminación urbana pesada. Estos lugares se han seleccionado ya que son representativos de las condiciones presentes en la costa de Chile, el norte y centro de los lugares de relevancia en función de la demanda de energía para la industria minera (Crucero), sectores residenciales y comerciales (Santiago), y para las zonas agrícolas (Curicó). Patache es de interés ya que comparte el clima de las ciudades más grandes de la costa norte de Chile y ayuda a caracterizar las nubes costeras conocidas localmente

como *camanchaca* que pueden afectar a las plantas solares ubicadas en el desierto cerca de la costa.

En la figura 7 se puede observar que Crucero, con un total anual de 2571 kWh/m<sup>2</sup> para GHI y 3389 kW·h/m<sup>2</sup> para la DNI como se midió en el año 2012 es uno de los mejores sitios en todo el mundo para la radiación solar. La estacionalidad de GHI es evidente, con días más cortos y menores valores para la temporada de invierno. Sin embargo, durante febrero hay episodios de cubiertas de nubes persistentes resultantes de la humedad proveniente de la cuenca del Amazonas, en lo que se conoce como invierno altiplánico. Incluso entonces, más de 300 días de cielos claros están disponibles cada año. Esto también es evidente en la gráfica de la DNI para Crucero, donde se puede observar que un gran número de días tienen alta DNI durante la mayor parte del día, con sólo unos pocos días de baja DNI que ocurre durante el invierno altiplánico y el invierno de temporada.



(a) Global Horizontal Irradiance GHI



(b) Direct Normal Irradiance DNI

**Figura 7. Totales diarios de radiación solar desde enero a diciembre de 2012 en cuatro lugares diferentes.**

Patache, aunque está cerca de Crucero, no se encuentra en la depresión intermedia de Chile, pero en el borde del gran acantilado que se eleva desde el nivel del mar hasta 1000 m en menos de 2 km de la línea costera. Los totales anuales son 2114 kW h / m<sup>2</sup> para GHI y 1908 kW h / m<sup>2</sup> para el DNI. Su clima es muy similar a la que comparten las principales ciudades del norte de Chile y por lo tanto útiles para obtener una perspectiva sobre el potencial de suministro de energía solar para los sectores residenciales y comerciales que concentran la mayor parte de la población. En términos de la radiación, este clima de la costa norte se caracteriza por cielos claros de diciembre a abril, con la presencia de cubiertas de nubes que causan la variabilidad con la disminución de GHI y la DNI del resto del año. Por lo tanto, aun cuando los dos lugares se encuentran estrechamente cerca, Crucero y Patache muestran cómo los climas costeros y desierto del norte de Chile tienen muy diferente disponibilidad del recurso solar. Esto implica que se requerirán diferentes soluciones tecnológicas para la producción de energía solar de acuerdo con la característica particular de las principales regiones de clima y microclima del norte de Chile.

La variabilidad del recurso solar en Santiago y Curicó es más alta debido a su clima mediterráneo con las existencias de días nublados y claros durante todo el año con una fuerte estacionalidad de verano/invierno. Los episodios de cubiertas de nubes persistentes durante varios días son comunes durante el año, aunque menos frecuente en verano. En invierno, las cubiertas de las nubes son más comunes, los días son más cortos, y los niveles de radiación se reducen considerablemente. Los totales anuales son 1913 kWh/m<sup>2</sup> para GHI y 1911 kWh/m<sup>2</sup> para la DNI en Santiago, y 1791 kWh/m<sup>2</sup> para GHI y 1952 kWh/m<sup>2</sup> para la DNI en Curicó. Lo que es interesante a destacar es que, aun cuando la distancia máxima entre Crucero y Santiago es un poco menos de 1600 km, en los días claros la GHI y DNI tienen perfiles muy similares y los niveles máximos son sólo ligeramente reducidos por los efectos de la latitud y la altitud. Sin embargo, la diferencia entre el desierto y la costa es mucho más grande y el total anual en Patache para la DNI está más cerca de Santiago que de Crucero

## **5. CHILE-SR, MODELO DE ESTIMACIÓN BASADO EN SATÉLITES**

Las campañas de mediciones terrestres, aunque son precisas, son caras y propensas a fallos en el equipo, con la falta de mantenimiento que lleva a los datos a tener alta incertidumbre. La estimación satelital es más económica pero lo suficientemente precisa, y cubre una gran área geográfica con una resolución espacial y temporal adecuada. Con base en esto, se ha trabajado con el objetivo de desarrollar un modelo de estimación satelital que podría producir datos precisos y de baja incertidumbre para Chile, tomando en cuenta las diferentes características climáticas en el país y utilizando para el desarrollo del modelo la suficiente resolución espacial y temporal. El modelo de *Chile-SR* se ha desarrollado como una modificación del modelo de *Brasil-SR* existente y desarrollado por el INPE, tomando su algoritmo básico y modificándolo con el fin de crear una adaptación especialmente adecuada a gran medida para las diferentes condiciones que Chile presenta: el desierto de Atacama se encuentra en las regiones del norte, con un clima mediterráneo se encuentra en la región central del país, y, finalmente, un bosque frío en sus regiones del sur. A lo largo

del país, también hay la costa, interior y zonas montañosas, sin embargo, no existe algún mapa de radiación solar directa que haya sido obtenido con este modelo y cubra todo Chile, debido a que falta data en la zona norte, y en la zona sur, debido a la curvatura de la tierra es difícil obtener los datos. El objetivo definido para el modelo es que sea capaz de capturar todos estos climas y proporcionar estimaciones precisas de la irradiación solar. El modelo Chile-SR, es un modelo privado, perteneciente a la Pontificia Universidad Católica de Chile, y tienen acceso a esos datos, únicamente los investigadores de dicha Universidad, por lo tanto, no se encuentra disponible en ningún sitio web.

La figura 8 muestra una descripción resumida del modelo de *Chile-SR*, sus entradas, la parametrización atmosférica, y salidas. El modelo considera que el modulador principal de la radiación solar en la superficie de la tierra es la cobertura de nubes, mientras que en ausencia de la cubierta de nubes el modulador se convierte en la columna de aerosol que determina la transmitancia de radiación atmosférica. El modelo *SR-Chile* estima la radiación incidente en la superficie utilizando una metodología de *dos flujos* que calcula una transmitancia atmosférica de cielo despejado  $\tau_{clear}$  y una transmitancia atmosférica de cielo nublado  $\tau_{nublado}$ . Mientras  $\tau_{clear}$  es una función del albedo de la superficie, ángulo Zenith y la profundidad óptica de los aerosoles,  $\tau_{nublado}$  depende principalmente de las propiedades ópticas de las nubes. Ambos componentes de transmitancia atmosférica se estiman utilizando los datos de entrada meteorológicos que permiten parametrización de los procesos físicos que se producen en la atmósfera. Para ello, el modelo usa 135 intervalos espectrales y 30 capas de la atmósfera para la solución de la ecuación de transporte radiativo.

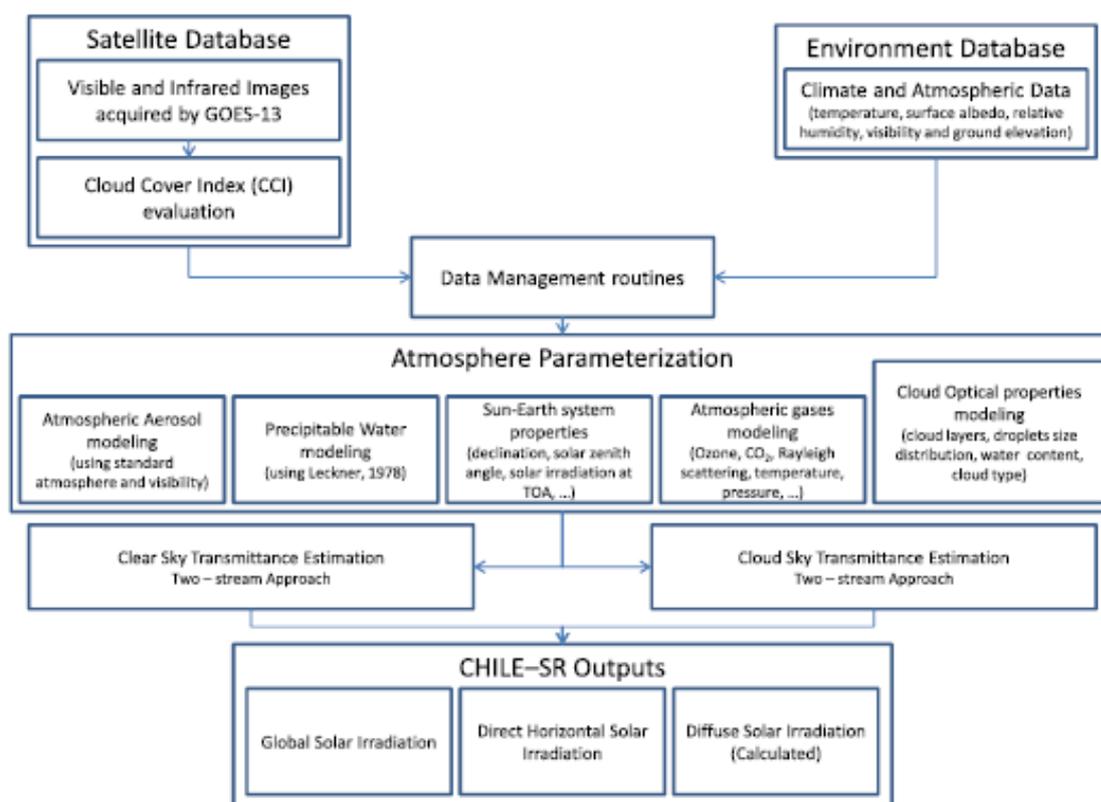


Figura 8. Descripción general del modelo Chile-SR.

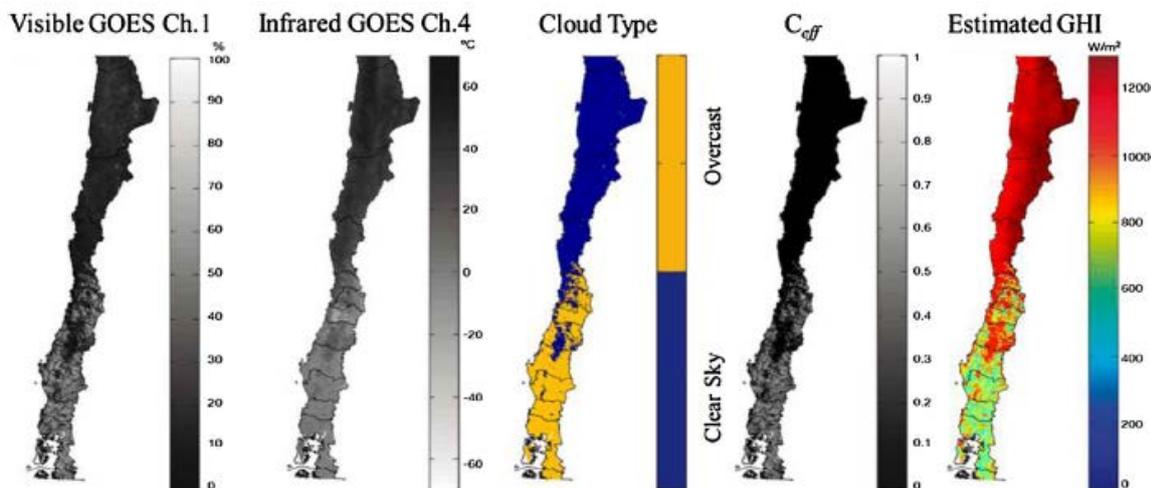
Las interacciones en la atmósfera entre la radiación solar y los aerosoles es uno de los procesos considerados en el modelo *Chile-SR* mediante la estimación de la transmitancia atmosférica a partir de valores de visibilidad que son entradas de datos. Como no hay mediciones de la visibilidad en Chile, su valor se estima en dos etapas: en primer lugar, la visibilidad a nivel del mar se calcula en función de la latitud y la fecha en función de un modelo de atmósfera estándar, y luego se corrige mediante una función exponencial con el fin de dar cuenta de una mayor visibilidad en las zonas altas. En la práctica, los valores utilizados variaron de 5 a 150 km, como para el modelo original de IGMK a partir del cual los modelos tanto en el Brasil-SR y Chile -SR se derivan. Los aerosoles son el segundo parámetro más importante para determinar la irradiancia solar después de las nubes, mientras que para un cielo despejado se convierten en la principal fuente de extinción atmosférica para la DNI. Si se presentan grandes errores en los datos de aerosoles, entonces esto da lugar a incertidumbres de la DNI que pueden ser tan grandes como 15-20% y hasta un 8% en el caso de GHI sobre una base anual media. Varias fuentes de datos de aerosoles muestran que para Chile el contenido de aerosoles en la atmósfera es mínimo y por lo tanto se considera que las deficiencias del enfoque basado en la visibilidad se reducen al mínimo, que se apoya en los niveles de error relativamente bajos que se encuentran en la sección de validación del modelo.

El modelo Chile-SR se hace específico para las condiciones de Chile mediante la inclusión de datos actualizados de altitud climática corregida (temperatura, humedad relativa y presión atmosférica), la topografía y el albedo de la superficie. Además, las imágenes GOES por canales visibles e IR se utilizan como entrada para clasificar en primer lugar los tipos de nubes, y luego determinar una cobertura de nubes efectiva. En este paso la utilización de canales visibles e IR es la principal novedad con respecto al modelo de Brasil-SR existente, ya que permite resolver los problemas que surgen de la geografía particular de Chile, donde grandes lagos de sal coexisten con nubes y, a su vez, ambos muy cerca de cubiertas de nieve, todos los cuales aparecen como muy similares en el canal visible. Mediante la adición de la información proporcionada por el canal de IR es posible diferenciar las nubes del hielo y cubiertas de nieve de lagos de agua salada.

La Figura 9 ilustra la secuencia de pasos principales que el modelo *Chile-SR* toma con el fin de estimar la radiación. El canal 1 (visible) y el canal 4 (IR) a partir de imágenes GOES se utilizan con el fin de identificar y clasificar el tipo de nube, que a su vez ayuda a determinar la cobertura de nubes efectiva que acopla al algoritmo de transmitancia atmosférica que permite estimar la irradiancia global horizontal.

La Figura 9 también ilustra las dificultades adicionales que el equipo de investigación ha enfrentado, ya que los lagos de agua salada y la cubierta de nieve en una imagen de canal visible pudiera parecer como cubiertas de nubes. El canal IR complementa la imagen del canal visible, dando información sobre las temperaturas de cada región. Al combinar adecuadamente la información de ambos canales, una clasificación de las nubes se puede hacer y, por tanto, determinar si una región particular es libre de nubes o si tiene cubiertas de nubes. El siguiente paso es procesar el tipo de nubes y la comparación de la información instantánea de cada imagen para

una referencia mensual establecida, lo que permite determinar una cobertura de nubes efectiva  $CC_{eff}$ . En la situación particular representada en la figura 9 hay valores altos de GHI hasta  $1200 \text{ W/m}^2$  bajo un cielo despejado, con cubiertas de nubes la disminución de la GHI bajo alrededor de  $600 \text{ W/m}^2$ .



**Figura 9. Procedimiento resumido del modelo Chile-SR: desde imágenes satelitales visible e IR hasta una estimación de GHI.**

Como salida, los datos del modelo de *Chile-SR* se componen de sólo la GHI y la radiación horizontal directa sobre una base horaria, tanto la irradiancia difusa y la DNI deben ser calculados a partir de ellos. Para esto, el modelo de fracción difusa de Boland-Ridley-Laurent (BRL) se aplica a la GHI estimada del satélite con el fin de calcular la DNI. Este modelo utiliza múltiples factores predictivos para estimar la fracción difusa DF utilizando el índice de claridad horario  $k_t$ , el índice de claridad diario  $K_t$ , la altitud solar  $\alpha$ , el tiempo solar aparente (AST) y una medida de la persistencia  $\psi$ , que es un promedio de tanto un retraso y una parte del índice de claridad. Según la literatura, este modelo funciona sustancialmente mejor para las ubicaciones del hemisferio sur que otros modelos similares. El modelo BRL fue calibrado para Chile utilizando los datos de la estación terrestre con el fin de encontrar el índice de claridad y la persistencia, y luego se aplicó a los datos de GHI por satélite, que se utiliza para calcular la fracción difusa y con la irradiación horizontal directa y finalmente teniendo en cuenta la geometría solar es posible estimar la DNI. Los mejores parámetros para cada ubicación se seleccionan minimizando la suma de la diferencia de cuadrados entre el modelo de predicción de la fracción difusa (BRL) conseguido con las medidas de la GHI, y la fracción difusa real obtenido con la medida de la irradiancia difusa horizontal y la GHI.

La figura 10 muestra los mapas de irradiación diaria anual de media. Se puede observar que los totales diarios por encima de  $5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  de GHI, de  $6 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  de DNI están presentes en la mayor parte del país, donde los niveles máximos alcanzan más de  $8 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  para GHI y  $10 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  para la DNI.

Se puede observar en la Figura 10 que los valores más altos de GHI se encuentran en el norte de Chile, porque la región muestra una baja coberturas de nubes

y bajos contenidos de aerosol, y por ello se presentan valores superiores a 8 kWh/m<sup>2</sup>/día en la depresión intermedia e incluso más en las montañas de los Andes. Las regiones en la depresión intermedia de Chile entre la costa y las montañas de los Andes presentan valores altos de GHI y DNI con una pequeña disminución con la latitud. La gran influencia de cubiertas de nubes costeras son observadas ya que la radiación es mucho menor en la costa que en la depresión intermedia, que en la práctica significa que las opciones tecnológicas para la costa y el interior norte de Chile serán muy diferentes.

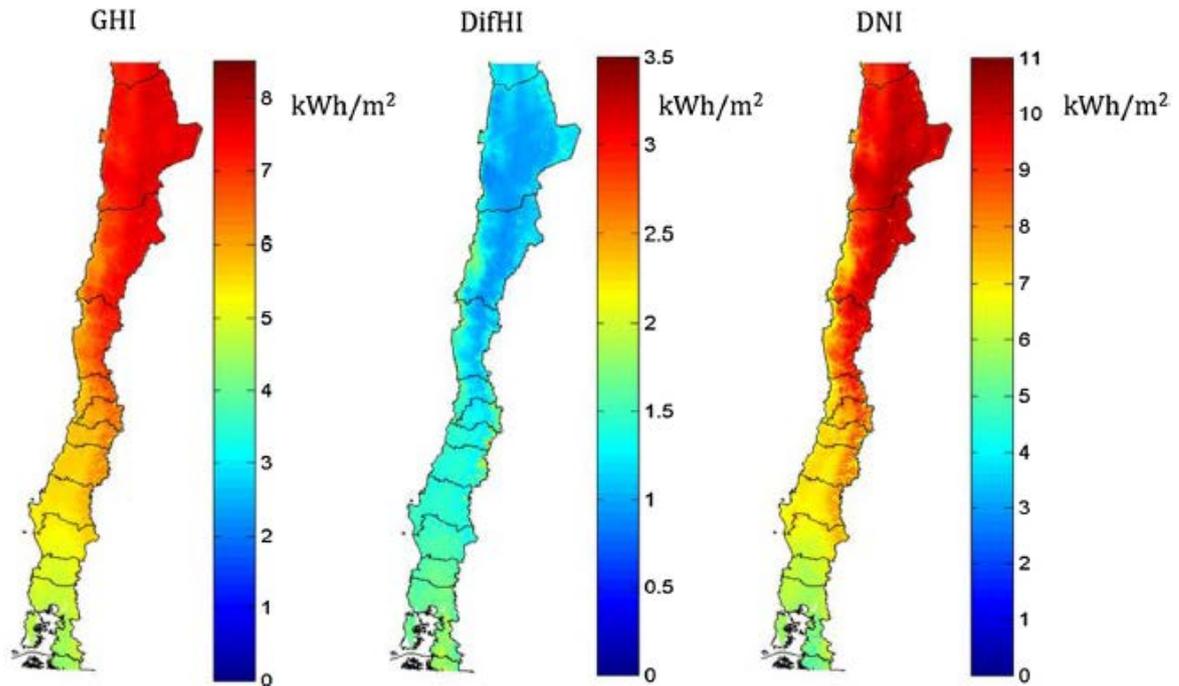


Figura 10. Totales diarios de radiación en promedio anual para 2013

## 6. REFERENCIAS

- [1] Pitz-Paal R, Geuder Norbert, Hoyer-Klick Carsten, Schillings Christoph. How to get bankable meteo data? DLR solar resource assessment. In: NREL 2007 parabolic trough technology workshop, March 8 – 9, 2007, Golden, Colorado; [http://www.nrel.gov/csp/troughnet/wkshp\\_2007.html](http://www.nrel.gov/csp/troughnet/wkshp_2007.html); 2007.
- [2] Davis John C. Statistics and data analysis in geology. 2nd ed. New York: Wiley; 1986.



## CAPÍTULO 2

# INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL POTENCIAL SOLAR EN MÉXICO

### CONTENIDO

1. Introducción .....	2
2. Antecedentes de Evaluación del Recurso Solar en México.....	2
2.1. Redes solarimétricas actuales.....	3
2.2. Estimación a partir de modelos .....	4
3. Medición de radiación directa.....	5
4. Proyectos actuales.....	6
5. Referencias.....	10

## 1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se considera a México como un país con un muy importante potencial solar. Sin embargo dicho potencial está muy lejos de encontrarse adecuadamente evaluado. Tanto entidades gubernamentales como instituciones académicas a lo largo de los años han realizado esfuerzos significativos para llevar a cabo esta tarea. No obstante, dichos esfuerzos no han sido coordinados y la falta de sinergia ha impedido un avance decisivo. Esta situación ha comenzado a cambiar a lo largo de la última década, a medida que el creciente interés en el desarrollo de las energías renovables por parte del sector gubernamental ha impulsado la necesidad de conocer mejor estos recursos.

Hoy en día se tienen avances significativos hacia una evaluación sistemática del recurso solar de radiación global en México. Por otro lado, en el caso del recurso de radiación solar directa, la evaluación todavía es incipiente, pero en los últimos años están ocurriendo también avances importantes. A continuación se hace una síntesis de la evolución histórica y la situación actual, así como de la información disponible a la fecha.

## 2. ANTECEDENTES DE EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR EN MÉXICO

Las primeras mediciones de radiación solar en México fueron llevadas a cabo en los periodos 1911-1917 y 1923-1928, por el Dr. Ladislao Gorczyński, por encargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) [1,2], en el Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya. Sin embargo, esta actividad se interrumpió posteriormente por casi tres décadas.

En 1957, con motivo del año geofísico internacional, se retomó la medición de la radiación solar en México. Esta actividad emprendida por el Instituto de Ciencia Aplicada y el Instituto de Geofísica (IGF), ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se instalaron 5 estaciones solarimétricas en diferentes ciudades del país, pero sólo dos de estas estaciones funcionaron por un período largo: una en Chihuahua, durante 15 años, y otra en Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México, la cual sigue en funcionamiento hasta la actualidad. Los datos medidos en estas dos estaciones fueron incluidos en la *World Radiation Data Base*.

La estación de Ciudad Universitaria eventualmente dio lugar en la década de los 80 del pasado siglo a la creación del Observatorio de Radiación Solar (ORS) del IGF-UNAM. Dicho Observatorio es reconocido actualmente por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) como un centro regional de referencia AR-IV, para la calibración de sensores de radiación solar.

Algunas instituciones han medido radiación solar en diferentes períodos por interés académico, como por ejemplo el Instituto de Ingeniería y el ya mencionado IGF,

ambos de la UNAM, así como el Instituto Politécnico Nacional, en la Ciudad de México; el Centro de investigación en Energía en Temixco, Morelos; el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), en Cuernavaca, Morelos; la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora; la Universidad Autónoma de Yucatán, en Mérida; la Universidad de Colima, en Colima; la Universidad Autónoma de Baja California, en Mexicali; la Universidad Veracruzana, en Coatzacoalcos; y la Universidad Autónoma de Zacatecas, en Zacatecas.

Por otro lado, diferentes entidades gubernamentales han establecido redes meteorológicas en el país, donde a veces se han incluido sensores de radiación. Por ejemplo:

- En la década de los 70, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) instaló piranógrafos bimetálicos y heliógrafos en una red de 60 estaciones.
- En los años 80, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) creó una red de estaciones solarimétricas, donde 20 de ellas estaban equipadas con piranógrafos.
- A partir de los años 90 el SMN instaló una red de 133 estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) con transmisión de datos cada 10 minutos, las cuales incluyeron piranómetros para medición de la radiación global horizontal, la cual en la actualidad (2016) continua aumentando, existiendo en este momento más de 180 estaciones.

La información generada por estas redes no ha sido tradicionalmente de fácil acceso, debido a que no ha habido un esfuerzo sistemático para su procesamiento y divulgación.

## **2.1. Redes Solarimétricas Actuales**

Actualmente existen en México las siguientes redes solarimétricas gubernamentales en operación:

- El SMN opera una red de 187 estaciones automáticas, que miden la irradiancia solar global con piranómetros estándar de segunda clase.
- La Comisión Federal de Electricidad cuenta con una red de alrededor de 20 piranógrafos sin recalibración y 6 piranómetros también sin recalibración.
- La Secretaría de Marina cuenta con 22 estaciones meteorológicas automáticas equipadas con piranómetros.
- La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Red Automatizada de Monitoreo Ambiental (RAMA) cuenta con 9 estaciones con piranómetros y sensores de radiación solar UVA y otros UVB.
- El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), a través de un proyecto CONACYT de laboratorios Nacionales, instaló entre 2007 a 2009 una red de estaciones para la evaluación del recurso solar y eólico, las cuales incluyen piranómetros para la medición de la radiación solar global horizontal.

- El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias cuenta con una red de 993 estaciones meteorológicas, las cuales incluyen piranómetros que utilizan como detector un fotodiodo y los cuales nunca han sido calibrados.

Una de las grandes limitaciones tradicionales de estas redes es que han carecido de programas sistemáticos de mantenimiento y calibración de sensores y tampoco ha habido un esfuerzo de análisis y depuración de los datos. En ese sentido, un avance relativamente reciente y muy significativo es que durante el período 2012-2015, en el marco del proyecto de “*Calibración de una red nacional de sensores de radiación solar y de su base de datos (recobro, validación y calibración de 133 estaciones)*”, apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se substituyeron los piranómetros de 133 de las estaciones EMAS del Servicio Meteorológico Nacional. Los sensores retirados iban a ser recalibrados para volver a instalarse en el año 2016. La idea es poder contar con datos confiables en 133 puntos del país durante un periodo de 4 a 5 años y mantener a futuro un programa de calibración de esta red, por parte del ORS del IGF-UNAM, mediante un convenio que se ha establecido con el SMN.

Otro avance muy importante, es que a partir de 2016 han comenzado a entrar en operación las estaciones de la Red Solarimétrica de Referencia, del proyecto CEMIE-Sol (Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar), operada por el ORS, en colaboración con varias instituciones académicas del país. Estas estaciones cuentan con varios sensores, que permiten la medición de los siguientes parámetros solarimétricos: irradiancia global, directa normal, difusa, UVB, global inclinada con la latitud, irradiancia de onda larga, luminosidad, e irradiancia fotosintéticamente activa. Esta red, que es de particular interés en el presente reporte, por contar con medición de radiación directa, se describirá en la sección 4.

## 2.2. Estimación a partir de Modelos

A lo largo de los años, varios mapas y tablas de la radiación solar para México han sido publicados por diferentes autores basados en modelos, tanto satelitales como basados en parámetros meteorológicos medidos en tierra.

- Rafael Almanza y Serafín López [3] utilizaron en 1975 el modelo de Reddy [4], para evaluar la insolación promedio mensual en 38 ciudades, basándose en datos meteorológicos de aeropuertos principalmente.
- Almanza, Estrada-Cajigal y Barrientos [5] realizaron en 1992 una actualización de estos mapas, utilizando datos meteorológicos recopilados desde 1941 a 1980 en 54 localidades.
- Los trabajos de Galindo y Valdés [6], en 1992, y de Galindo Estrada y Cifuentes Nava [7], en 1996, fueron realizados a partir de datos de radiómetros VISSR con un rango de detección de radiación entre 550 y 750 nm de longitud de onda, embarcados en los satélites geoestacionarios SMS-2 y GOES-2. Para esto se utilizó el modelo de Tarpley, modificado por Galindo y colaboradores [8].
- El National Renewable Energy Laboratory (NREL) de los Estados Unidos mantiene un servidor web con soporte de un sistema de información geográfica

para mostrar información de radiación solar global horizontal para México basada en el modelo CSR.

- La CFE realizó, en el año 2010, una licitación para la elaboración de mapas de radiación solar en la república mexicana con una resolución de 10 km x 10 km utilizando el modelo SUNY (Perez et al, ), este trabajo fue llevado a cabo aunque sus resultados no se han dado a conocer públicamente.

Aquí es relevante mencionar que Renne y colaboradores [9] hicieron una comparación en 2000 de los diferentes resultados publicados en estos mapas a la fecha y encontraron que las diferencias entre ellas alcanzaban hasta el 20%. En particular compararon los trabajos de Galindo y Valdés [6], Hernández y col. [10], Almanza y col. [5], Galindo y Chávez [11]. También presentan algunos resultados obtenidos con el método que usa el modelo CSR (Climatological Solar Radiation Model).

Más recientemente, en 2015, Riveros-Rosas y colaboradores [12, 13] llevaron a cabo un análisis de las bases de datos del SMN entre 1990 y 2000. Se realizó una validación del modelo CSR con datos de radiación global medidos por estas estaciones [14].

### **3. MEDICIÓN DE RADIACIÓN DIRECTA**

Como puede verse a partir de la discusión de la sección anterior, han existido y existen un importante número de puntos en México para la medición de la radiación global horizontal, tanto por parte de entidades gubernamentales, como aquellas del sector académico. Esto a pesar de que ha habido muchos cuestionamientos sobre la validez de los datos y de que su accesibilidad ha sido limitada.

En contraste con lo anterior existe una cantidad muy pequeña de datos de irradiancia solar directa normal (DNI) medidos en México. Estos datos han sido obtenidos en diferentes épocas, fundamentalmente con fines académicos, ya sea para evaluación del recurso solar o por instituciones involucradas en investigación sobre sistemas solares de concentración. Las instituciones que se ha podido identificar para este reporte son las siguientes:

- El IGF-UNAM, en su estación de Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México desde 1990 a la fecha.
- El Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) a partir del 2000, con interrupciones.
- El Instituto de Energías Renovables (IER; antes Centro de Investigación en Energía) de la UNAM a partir del año 2005, con interrupciones, y más consistentemente a partir de 2010.
- La Universidad de Sonora (UNISON), en el Campus Central en Hermosillo, a partir de 2008 y en el Campo Experimental de Torre Central (antes Campo de Prueba de Heliostatos, CPH), en las afueras de Hermosillo, a partir de 2013.
- La Universidad de Baja California, en Mexicali, a partir de 2010.

- La universidad de Colima (UC), a partir de 2001.
- La Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), a partir de 2013.
- La universidad de Quintana Roo, a partir de 2014.
- El Centro de Investigaciones en Óptica, Unidad Aguascalientes, a partir de 2016.

En la Tabla 1 se muestra el listado de las estaciones que ha sido posible identificar con su localización, mientras en la Tabla 2 se mencionan los sensores y período de medición de cada estación. En la Fig. 1 se muestra la localización de las estaciones en un mapa.

**Tabla 1. Ubicación de las estaciones con medición de radiación directa**

Estación	Institución	Localidad	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (m)
ORS-Geofísica	UNAM	Ciudad de México	19.326	-99.176	2225
IER	UNAM	Temixco	18.840	-99.236	1253
CENIDET	CENIDET	Cuernavaca	18.876	-99.220	1348
UNISON	UNISON	Hermosillo	29.082	-110.959	206
CPH	UNISON/UNAM	Hermosillo	29.028	-111.145	153
UAC	UC	Colima	19.248	-103.699	552
UAZ	UAZ	Zacatecas	22.775	-102.642	2333
UQROO	UQROO	Chetumal	18.524	-88.269	6
CIO	CIO	Aguascalientes	21.845	-102.343	1863

**Tabla 2. Estaciones con medición de radiación directa, datos técnicos**

Estación	Localidad	Sensor	Año de Inicio	Estado
ORS-Geofísica	Ciudad de México	Kipp & Zonen	1990	Operativo
IER	Temixco	Eppley NIP	2005	Operativo
CENIDET	Cuernavaca	Eppley NIP	2000	
UNISON	Hermosillo	Kipp & Zonen	2008	Operativo
CPH	Hermosillo	Eppley NIP	2013	Operativo
UAC	Colima	Eppley NIP	2001	Operativo
UAZ	Zacatecas	Eppley NIP	2013	Operativo
UQROO	Chetumal	Eppley NIP	2014	Operativo
CIO	Aguascalientes	Kipp & Zonen	2016	Operativo

## 4. PROYECTOS ACTUALES

Dentro del proyecto del Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-Sol) se aprobó el proyecto estratégico “Inventario Nacional del Recurso Solar”, cuyas características principales son las siguientes:

- Proyecto: Inventario Nacional del Recurso Solar
- Responsable: Mauro Valdés Barrón, IGF-UNAM
- Financiador: CONACYT, proyecto CEMIE-Solar, IER-UNAM
- Duración: 2014-2017
- Presupuesto: \$32,740,000.00 de pesos mexicanos

Se plantearon 16 estaciones con capacidad de medir un número importante de parámetros de radiación solar:

- Irradiancia solar global
- Irradiancia solar difusa
- Irradiancia directa normal
- Irradiancia global sobre un plano inclinado a la latitud
- Irradiancia de onda larga
- Irradiancia fotosintéticamente activa
- Luminancia
- Irradiancia global horizontal UVB



**Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones que miden irradiancia directa normal en México.**

Para seleccionar las ubicaciones de estas instalaciones se hizo una regionalización del país, con base en algunos parámetros físicos y atmosféricos [13]. Se utilizó un método estadístico multivariado de análisis de cúmulos (clusters) en un ambiente de sistemas de información geográfica. El método hace uso del algoritmo ISODATA (“Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique”) que se orienta a definir

clases comunes o similares presentes en un conjunto de datos (mapas raster en este caso) de diferentes características.

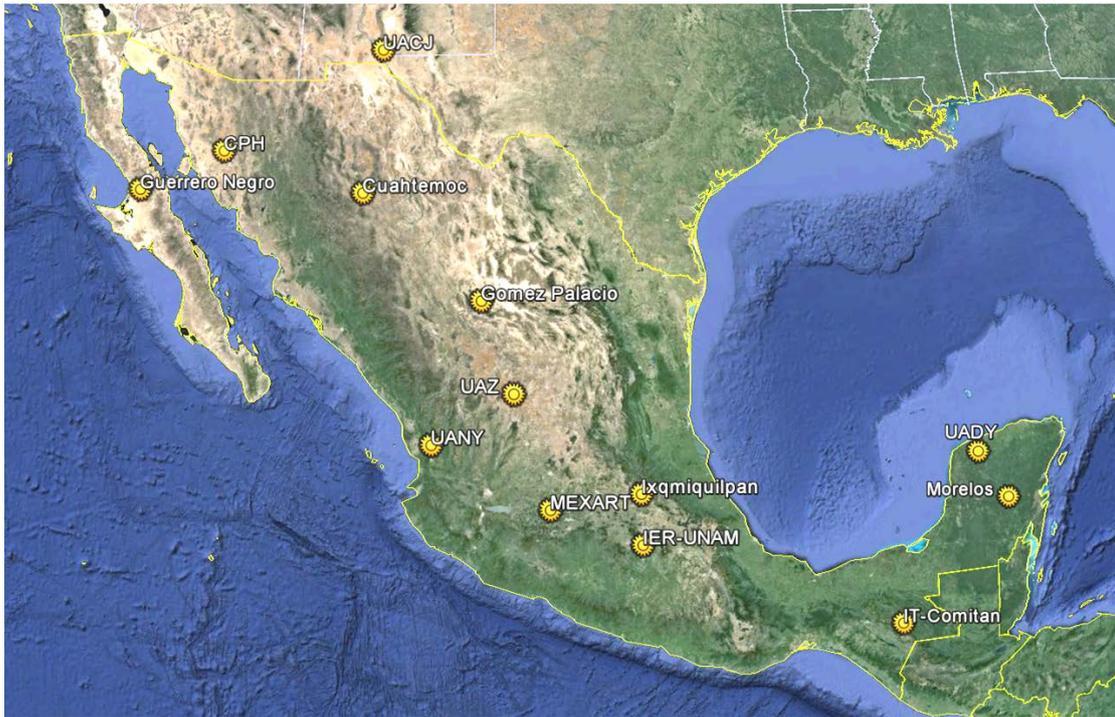
La entrada al modelo son una serie de mapas de los diferentes elementos y factores físico-geográficos. El método se basa en la correlación múltiple de los diferentes elementos a partir de los cuales se encuentran grupos estadísticamente similares que corresponderán a las diferentes regiones. Se incluyen variables climáticas tales como temperatura, precipitación, evaporación y humedad. Los resultados de la regionalización se muestran en el mapa de la Fig. 2.

A pesar de que existen puntos en regiones que resultaron con condiciones similares, se considera necesario diferenciar, de acuerdo a la ubicación geográfica, regiones del mismo tipo separadas en zonas climáticas completamente diferentes (por ejemplo la Sierra Madre Occidental y la Península de Yucatán, o la Llanura Costera de Tamaulipas y gran parte del Eje Volcánico Transversal). Los valores de desviación RMS mensual en cada una de las regiones oscilan en promedio entre un 3.6% a un 7.4%.



**Figura 2. Regiones finales obtenidas a partir de la técnica ISODATA.**

Se ubicaron las estaciones solarimétricas en cada una de las regiones identificadas, buscando localizaciones que también permitieran su supervisión por parte de las instituciones colaboradoras. Debido a restricciones presupuestales, el número de estaciones ha sido reducido a 11. Algunas de estas estaciones son completamente nuevas y otras son reequipamientos de estaciones existentes previamente. Dichas estaciones se muestran en la Fig. 3 y en la Tabla 3.



**Figura 3. Ubicación de las estaciones que están siendo instaladas en el proyecto CEMIE-Sol.**

**Tabla 3. Ubicación de las estaciones del proyecto CEMIE-Sol**

Estaciones	Localidad	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (m)	Nueva
UACJ	Ciudad Juárez, Chihuahua	31.758	-106.450	1260	Sí
CPH	Hermosillo, Sonora	29.027	-111.145	200	No
Guerrero Negro	Guerrero Negro, Baja California	27.951	-113.669	180	Sí
Cuauhtémoc	Ciudad Cuahutémoc, Chihuahua	27.933	-106.900	2217	Sí
Gómez Palacio	Gómez Palacio, Durango	25.147	-103.495	1428	Sí
UAZ	Zacatecas, Zacatecas	22.775	102.642	2333	No
UANY	Tepic, Nayarit	21.493	-104.891	1150	Sí
UADY	Méridoa, Yucatán	20.557	-89.589	16	Sí
Ixmiquilpan	Ixmiquilpan, Hidalgo	20.150	-99.240	2056	Sí
MEXART	Cueneo, Michoacán	19.813	-101.695	1990	Sí
IER-UNAM	Temixco, Morelos	18.840	-99.237	1253	No
IT-Comitán	Comitán, Chiapas	16.228	-92.082	1667	Sí
Morelos	Morelos, Quintana Roo	19.759	-88.724	33	Si

De las estaciones mostradas en la Figura 3 y en la Tabla 3, actualmente se encuentra ya instaladas 8, que están completamente operativas y cuya información es transmitida vía internet en tiempo real a las instalaciones del ORS en la Ciudad de México. En las Figs. 5 y 6 se muestran imágenes de dos de ellas.



Figura 4. Estación del ORS del IGF-UNAM en Ciudad Universitaria, Ciudad de México.



Figura 5. Estación del Instituto Tecnológico de Ixmiquilpan, en Hidalgo.

## 5. REFERENCIAS.

1. A. Muhlia. Algo de Historia de la Solarimetría en México. Memoria del II Taller de Radiación Solar, *Instituto de Investigaciones Eléctricas*, Palmira Morelos, 23 al 25 de mayo de 1990. pp 21-25.

2. V. Estrada-Cajigal, Datos de Radiación Solar en la República Mexicana, alcances y limitaciones. *La Revista Solar*, No. 21 (1992) 10-19.
3. R. Almanza, S. López. Radiación solar en la República Mexicana mediante datos de insolación. Series del Instituto de Ingeniería No. 357. UNAM, México (1975).
4. S.J. Reddy. An empirical method for the estimation of total solar radiation. *Solar Energy* 13 (1971) 143-148.
5. R. Almanza Salgado, V. Estrada-Cajigal Ramírez, J. Barrientos Avila. Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana. *Series del Instituto de Ingeniería* No. 543. Instituto de Ingeniería, UNAM, México (1992).
6. I. Galindo, M. Valdés. México, Atlas de Radiación Solar. Programa Universitario de Energía, UNAM, México (1992).
7. I. Galindo Estrada, G. Cifuentes Nava. Radiación Solar Global en la Republica Mexicana: Valores Horarios Medios. Programa Universitario de Energía, UNAM, México (1996).
8. I. Galindo, S. Castro, M. Valdés. Satellite derived solar irradiance over Mexico. *Atmósfera* 4 (1991) 169-201.
9. D. Renné, R. George, L. Brady, B. Marion, V. Estrada-Cajigal. Estimating Solar Resources in México Using Cloud Cover Data. Proceedings of the ISES Millennium Solar Forum 2000. Asociación Nacional de Energía Solar, México, (2000), pp. 627-632.
10. E. Hernández, A. Tejeda, S. Reyes. Atlas Solar de la República Mexicana. Universidad de Colima y Universidad Veracruzana, México (1991).
11. I. Galindo, A. Chávez. Estudio del clima solar en la república mexicana I. Radiación solar total. Instituto de Geofísica, UNAM y Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, México (1977).
12. D. Riveros-Rosas, C. A. Arancibia-Bulnes, R. Bonifaz, M. A. Medina, R. Peón, M. Valdés. Analysis of a solarimetric database for Mexico and comparison with the CSR Model. *Renewable Energy* 75 (2015) 21-29.
13. R. Bonifaz, D. Riveros-Rosas, M. Valdes, H. Estevez, R. Rivas, M. A. Medina. "Analysis of solarimetric information in mexico by regions". (Enviado a *Renewable Energy*, Marzo de 2016).
14. D. Riveros-Rosas, M. Valdes, R. Bonifaz, M.A. Medina. Analysis of solarimetric database from national weather service in Mexico. *SolarPACES 2012*, 11 al 14 de Septiembre, Marrakech, Marruecos (2012).
15. M. Valdes, D. Riveros-Rosas, R. Bonifaz. Solarimetric network for solar radiation assessment in Mexico. *SolarPACES 2012*, 11 al 14 de Septiembre, Marrakech, Marruecos (2012).



## CAPÍTULO 3

# INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL POTENCIAL SOLAR EN COLOMBIA

### CONTENIDO

1. Introducción.....	2
2. Recolección de datos.....	2
2.1. Medición del brillo solar en estaciones meteorológicas de Colombia .....	4
2.2. Medición de radiación solar global en estaciones meteorológicas de Colombia .....	4
3. Procesamiento de los datos disponibles para la construcción del mapa de radiación solar .....	5
3.1. Modelo usado en el Atlas de Colombia para la inferencia de la radiación solar global .....	5
3.2. Modelo usado en el Atlas de Colombia para la inferencia del brillo solar .....	6
4. Valores de radiación global en Colombia .....	7
5. Plataforma interactiva y actualización de la base de datos del atlas .....	7
6. Referencias.....	8

## 1. INTRODUCCIÓN.

El uso de fuentes energéticas renovables es una prioridad que Colombia tiene muy presente, en este sentido desde hace varios años se han venido dando algunos pasos pertinentes enfocados en el uso de estas tanto en las actividades diarias de sus ciudadanos así como dentro del desarrollo de sus diferentes industrias. Uno de los puntos importantes para lograr el desarrollo de proyectos exitosos se basa en la identificación de las zonas geográficas que poseen el mejor rendimiento para la implementación de las diferentes alternativas disponibles. En el ámbito de la energía solar, el aporte más importante con el que se cuenta es el Atlas de Radiación Solar de Colombia [1].

Dicho proyecto proviene de la colaboración interinstitucional del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (**IDEAM**) y la Unidad de Planeación Minero Energética (**UPME**). Específicamente este fue desarrollado para facilitar el cumplimiento de la Ley 697 de 2001, la cual fomenta el uso racional y eficiente de la energía, puntualmente en el Decreto 3683 de 2003 referente al inventario de fuentes de energía convencionales y no convencionales.

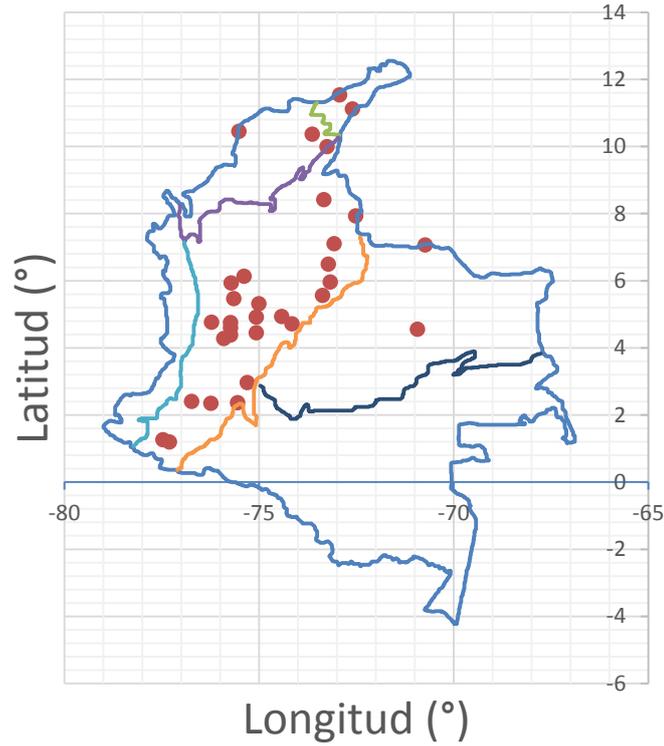
El Atlas contiene trece mapas en los cuales se muestran las siguientes colecciones de datos:

- Radiación solar global
- Brillo solar
- Radiación solar UV
- Ozono e índices UV.

## 2. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la elaboración de este Atlas de radiación solar de Colombia se tomaron los datos provenientes de 71 estaciones meteorológicas distribuidas en el país. No obstante 32 de estas se catalogaron como estaciones de referencia para la elaboración de los mapas, debido a los datos que recolectaron y el periodo de tiempo que han registrado. Es decir, estas 32 estaciones poseen información simultánea diaria de radiación solar global, brillo solar, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa, en series de tiempo completas de más de cinco años.

En la Figura 1 se muestra la distribución geográfica de estas 32 estaciones meteorológicas [2]. En total los mapas se completan a partir de los datos parciales de otras estaciones usando modelos para inferir los valores de radiación solar. La Tabla 1 muestra la cantidad de estaciones que aportan los datos parciales para la elaboración de los modelos [3].



**Figura 1. Estaciones meteorológicas de referencia para el Atlas de radiación solar de Colombia.**

**Tabla 1. Cantidad de estaciones usadas para la recolección de datos**

Tipo de estación	Cantidad	Variables registradas
Referencia	32	Radiación solar global, brillo solar, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa, en series de tiempo completas de más de cinco años.
Radiométricas	39	Radiación solar global, brillo solar, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa, en series de tiempo incompletas.
Brillo	383	Brillo Solar
Humedad y Temperatura	96	Humedad y Temperatura
Totales	550	

## 2.1. Medición del brillo solar en estaciones meteorológicas de Colombia

El término brillo solar (*Sunshine*, en inglés) se encuentra asociado con el exceso de luminosidad del disco solar respecto a la radiación difusa. En concreto para la Organización Mundial Meteorológica (WMO, en inglés) el brillo solar se define como la suma de todos los períodos de tiempo en los cuales la radiación solar directa excede los  $120 \text{ W/m}^2$ . Uno de los instrumentos recomendados por la WMO (en 1962) para registrar esa variable es el heliógrafo de Campbell-Stokes [4]. En este sentido, las estaciones meteorológicas en Colombia que registran esta variable lo hacen a través de este instrumento.

El heliógrafo de Campbell-Stokes consiste básicamente en una esfera de vidrio montada concéntricamente sobre una base esférica. La esfera es lo suficientemente grande como para concentrar los rayos solares sobre una cinta ubicada en la base que sostiene la esfera. Por lo tanto, el brillo solar será proporcional a la longitud de la quemadura sobre dicha cinta [5]. En la Figura 2-(a) se muestra el tipo heliógrafo usado en Colombia.

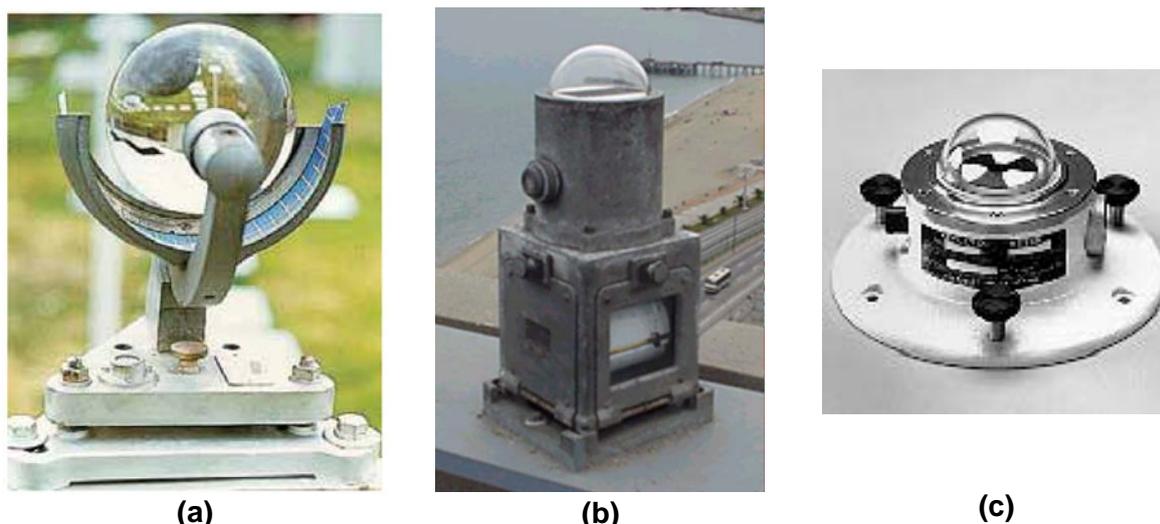


Figura 2. Instrumentos usados en Colombia para medir : (a) brillo solar (heliógrafo), (b) radiación solar global (actinógrafo Füssli), (c) radiación solar global (Piranómetro Blanco y Negro Eppley) [6]

## 2.2. Medición de radiación solar global en estaciones meteorológicas de Colombia

En las estaciones que miden esta variable en Colombia se tienen dos tipos de medidores, los actinógrafos (Figura 2-(b)) funcionan a través de un sensor termomecánico. Este consta de dos superficies metálicas que al recibir la radiación solar crea un perfil temperatura sobre una de las placas, lo cual hace que se forme una curvatura. Dicha deformación es transmitida a través de un mecanismo que registra los valores en una gráfica. Por otro lado los piranómetros consisten en un sensor termoeléctrico que

convierte la radiación solar en una señal eléctrica. En Colombia se usan en las estaciones meteorológicas el piranómetro Blanco y Negro (Figura 2-(c)) y el espectral de precisión, ambos fabricados por Eppley [6].

### 3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DISPONIBLES PARA LA CONSTRUCCION DEL MAPA DE RADIACION SOLAR

Con la finalidad de aprovechar de la mejor manera posible los datos disponibles de las estaciones meteorológicas en Colombia, en la UPME y el IDEAM optaron por usar los modelos disponibles en la literatura para inferir valores de la radiación solar global en una mayor cantidad de puntos. Por lo tanto el mapa comprende 71 puntos donde se ha medido la radiación solar global a través de mediciones, y 479 puntos de radiación solar que se ha inferido a través del modelo de Ångström [7] a partir de datos de brillo solar. De estos 479 puntos de brillo solar, 383 fueron directamente medidos en las estaciones meteorológicas y 96 fueron inferidos a partir de los datos de humedad, temperatura y los datos conocidos de brillo solar. En la Figura 3 se muestra un esquema del tratamiento de datos usado en la construcción del mapa de radiación solar global en el Atlas.

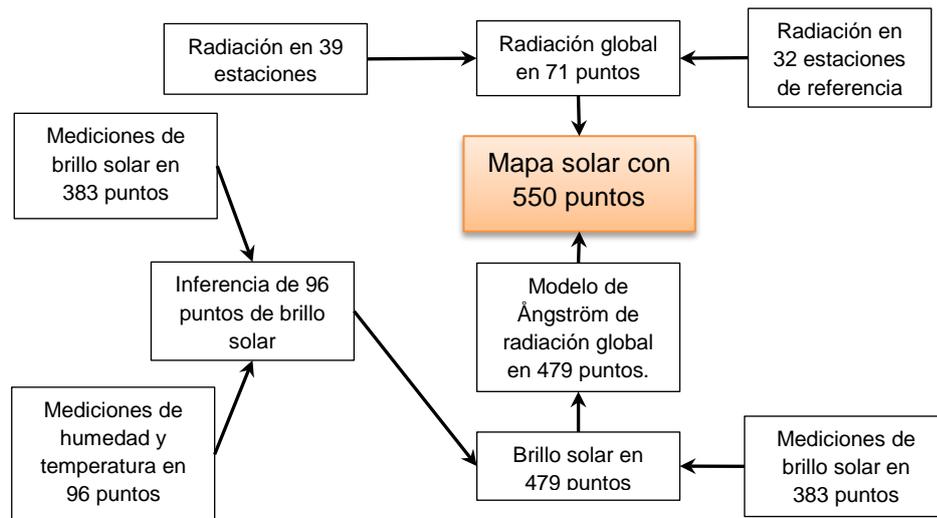


Figura 3. Tratamiento de datos usado en la construcción del mapa de radiación solar global en el Atlas de radiación de Colombia.

#### 3.1. Modelo usado en el Atlas de Colombia para la inferencia de la radiación solar global

El modelo usado para inferir los valores de radiación solar se basa en el desarrollado por Ångström en 1924 [7]. La versión modificada en el Atlas de radiación solar de Colombia se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{H}{H_0} = m_1 \left(\frac{n}{N}\right) + m_2 \left(\frac{n}{N}\right)^2 + m_3 \left(\frac{n}{N}\right)^3 + b \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$H$ : Radiación promedio diaria mensual sobre una superficie horizontal.

$H_0$ : Radiación solar global extraterrestre, para un día determinado sobre la localización deseada.

$m_1, m_2, m_3, b$ : Coeficientes de regresión (Determinados usando las estaciones de referencia).

$n$ : Número de horas de brillo solar medidas en superficie

$N$ : Duración del día calculada a partir de consideraciones astronómicas.

Por otro lado el valor de  $H_0$  se calcula a través de la ecuación mostrada a continuación.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_0 \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 \left( \cos \delta \cos \varphi \sin \omega + \frac{2\pi}{360} \omega \sin \delta \sin \varphi \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$I_0$ : Constante solar, cuyo valor es:  $1,367 \text{ kW/m}^2$

$\left(\frac{R_0}{R}\right)^2$ : Corrección por excentricidad de la órbita terrestre.

$\delta$ : Declinación solar.

$\varphi$ : Latitud del lugar.

$\omega$ : Ángulo horario para la salida del sol.

### 3.2. Modelo usado en el Atlas de Colombia para la inferencia del brillo solar

De acuerdo a lo expuesto en el Atlas, entre las variables más monitoreadas en las estaciones meteorológicas de Colombia se encuentran la temperatura y la humedad relativa. De allí que se tomen estos valores para inferir el brillo solar en las estaciones que no lo registraron directamente. La ecuación usada para esta tarea se muestra a continuación.

$$n = \alpha \cdot \Delta T + \beta \cdot H_r + \gamma \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$\alpha, \beta, \gamma$ : Coeficientes de regresión.

$\Delta T$ : Diferencia entre la temperatura máxima y mínima diarias.

$H_r$ : Humedad relativa.

## 4. VALORES DE RADICACIÓN GLOBAL EN COLOMBIA

De esta manera, de acuerdo al Atlas de radiación solar, los valores de radiación global para las regiones de Colombia (Figura 4) varían tal y como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Rango de radiación solar global media anual por regiones en Colombia

Región	kWh/m <sup>2</sup> por año
1 Guajira	1980-2340
2 Costa Atlántica	1260-2340
3 Orinoquía	1440-2160
4 Amazonas	1440-1800
5 Andes	1080-1620
6 Costa Pacífica	1080-1440

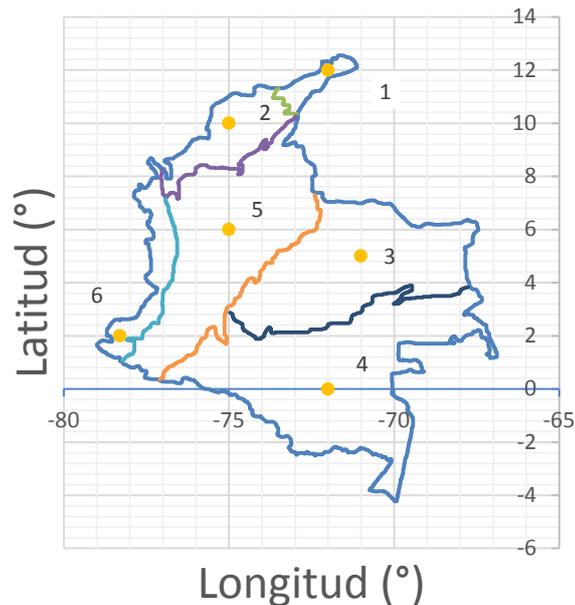


Figura 4. Regiones representativas de Colombia.

## 5. PLATAFORMA INTERACTIVA Y ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS DEL ATLAS

Con la finalidad de proporcionar datos de manera amigable e interactiva, el IDEAM y la UPME se han dado a la tarea de crear una plataforma online (a través de: <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>) que permita tener acceso a cualquiera de los

mapas de radiación solar global. Además, en dicha versión se aumentó el número de puntos de medición. De esta manera se tienen datos validados con información de cerca de 110 piranómetros del IDEAM, los cuales fueron calibrados con el patrón nacional durante los años 2014 y 2015. Contiene información de cerca de 60 actinógrafos del IDEAM. Asimismo se utilizó información validada de 105 sensores de otras entidades, que cuentan con redes pequeñas y de carácter regional, entre los que se encontraban 34 sensores de Cenicaña, 28 de Fedearroz, 10 del IPSE, 15 de la CAR y 17 actinógrafos de Cenicafe. Así, de los 591 puntos con información de brillo solar se escogieron 497 para realizar los mapas. Aunque la cantidad de puntos puede haber aumentado, el análisis llevado a cabo por el IDEAM y la UPME es el mismo que se mencionó en las secciones anteriores [8].

## 6. CONCLUSIÓN

En Colombia se tiene mucho interés en desarrollar sistemas a partir de la energía solar, para ello el desarrollo de mapas solares en todo el país ha sido bastante promovido. Estos mapas han sido enfocados primordialmente al impulso de sistemas fotovoltaicos, por lo tanto los mapas que han prosperado son los de radiación solar global. Sin embargo, se carece de una fuente confiable de datos de radiación solar directa o difusa (mediciones directas) por separado, indispensables para el desarrollo de sistemas solares térmicos de concentración.

Aunque no se dispone de valores reales (medidos) de radiación solar directa en Colombia, los valores de radiación solar global existentes permiten al menos estimar de forma aproximada la radiación solar directa, a la vez que también permiten identificar las tres regiones de Colombia con un mayor potencial solar (Guajira, Costa Atlántica y Orinoquía). Es en estas tres regiones es donde deben concentrarse los primeros esfuerzos para obtener medidas reales de radiación solar directa en Colombia.

## 7. REFERENCIAS.

- [1] UPME-IDEAM, “Atlas de Radiación solar de Colombia,” *Santafé Bogotá DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía*, 2005.
- [2] UPME-IDEAM, “Atlas de Radiación solar de Colombia,” *Santafé Bogotá DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía*, p. 164, Apéndice D, 2005.
- [3] UPME-IDEAM, “Atlas de Radiación solar de Colombia,” *Santafé Bogotá DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía*, p. 158, Apéndice D, 2005.
- [4] M. Jarraud, “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8),” *World Meteorol. Organ. Geneva, Switz.*, pp. 1.8–1, 2008.

- [5] M. Jarraud, "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8)," *World Meteorol. Organ. Geneva, Switz.*, pp. 1.8–5, 2008.
- [6] UPME-IDEAM, "Atlas de Radiación solar de Colombia," *Santafé Bogotá DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía DC Unidad Planeación Min. Energética, Minist. Minas y Energía*, pp. 144–145, Apéndice C, 2005.
- [7] A. Angstrom, "Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 50, no. 210, pp. 121–126, 1924.
- [8] IDEAM-UPME, "Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia." [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>. [Accessed: 17-Jan-2016].



# CAPÍTULO 4

## INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL POTENCIAL SOLAR EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

### CONTENIDO

1	Introducción .....	2
2	Radiación solar en el territorio de la República Argentina .....	4
2.1	Historia .....	4
3	Actualidad .....	6
4	Conclusiones.....	8
5	Referencias .....	8

## 1. INTRODUCCION

El territorio continental de la República Argentina se encuentra ubicado en el extremo sur del Continente Americano, se extiende desde el paralelo 21°46`50`` Sur, en la confluencia de río Grande, limitando con la hermana República de Bolivia; extendiéndose por 3100 km en línea recta hasta el paralelo 55°03`00`` en el cabo San Pio en el Límite sur con el Canal de Beagle. La parte continental abarca casi 2.8 millones de km<sup>2</sup> [1] (Figuras 1 y 2). Si se considera el territorio antártico, la extensión de la República Argentina, alcanza casi los 4 millones de km<sup>2</sup>.



**Figura 1. Ubicación geográfica de la República Argentina, en el continente sudamericano.**

El territorio nacional de la República Argentina se puede dividir, en base a su biodiversidad y clima, en cinco regiones (Figura 4) con 40 millones de habitantes y con un promedio de 7,5 hab. / km<sup>2</sup>. [1]. Estas cinco regiones son, de Norte a Sur: Noroeste, Noreste, Cuyo, Pampeana y Patagónica.

La zona del Noroeste, Cuyo y Centro pampeana son las que albergan las mejores condiciones de radiación solar para aplicaciones solares térmicas con sistemas de concentración, porque poseen los niveles más altos de radiación solar directa. El resto del país cumple con buenas condiciones para el uso de la energía solar en aplicaciones como calefacción local, generación de agua caliente y fotovoltaica intermitente.

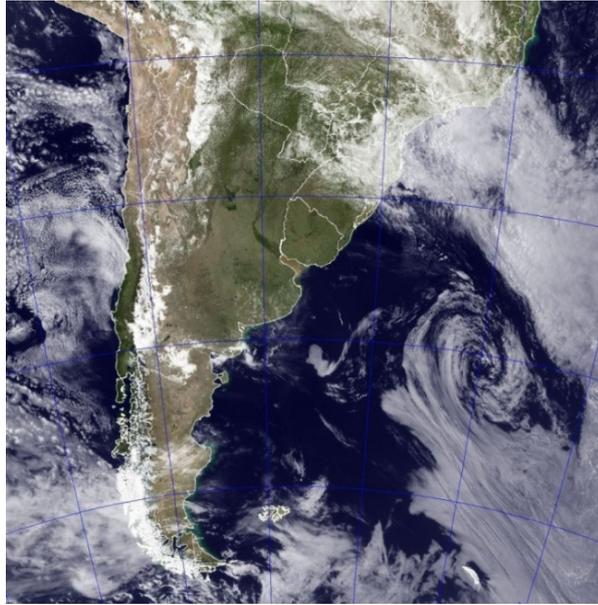


Figura 2. Imagen Satelital de la República Argentina, CONAE- 2010.



Figura 3. Mapa geografico referencial aprobado por el Instituto Geografico nacional de la Rep. Argentina. Abarca parte continental , 2.8 millones de km<sup>2</sup> y territorios de islas malvinas, Shetland, Shanwich y Georgias del Sur con 1.0 millones de km<sup>2</sup>, respectivamente



Figura 4. Regiones geográficas climáticas y de Biodiversidad del territorio Argentino.

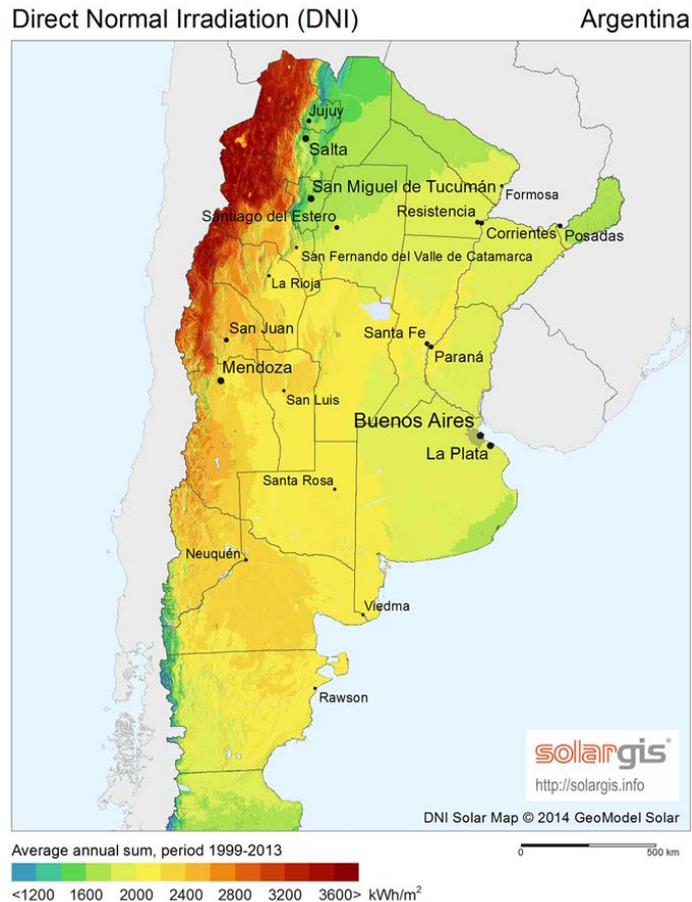
## 2. RADIACION SOLAR EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

### 2.1 Historia

La Argentina cuenta desde hace unos 10 años con varios centros de investigaciones y desarrollos tecnológicos que hacen registros sistemáticos y constantes de radiación solar en algunas regiones de su territorio. Estos registros, en su mayoría, son de radiación solar global, y recientemente se está incursionando en radiación solar directa (Figura 5)[2], debido al creciente interés de los sistemas solares térmicos de concentración en Argentina.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo oficial cuya función es proveer y mantener los sistemas de recopilación y control de calidad de los datos de observación en un *Banco Nacional de Datos Meteorológicos y Ambientales*, y procesarlos para la provisión de servicios meteorológicos y climatológicos en tiempo real y de servicios medioambientales relacionados y organizar el registro climatológico nacional [3].

Dicho organismo, el SMN, fue creado en Octubre de 1872, y desde entonces ininterrumpidamente cuenta con estaciones que registran a lo largo y ancho del territorio nacional todas las actividades climatológicas con información online en tiempo real. Sus registros de solarimetría solo se basan en radiación solar global, con estaciones automatizadas en aquellas zonas que son importantes desde el punto de vista agropecuario y agroindustrial.



**Figura 5. Mapa solarimétrico de la Rep. Argentina, elaborado por CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) en combinación con NASA (National Aeronautics and Space Agency) y ESA (European Space Agency).**

Las zonas de la pampa húmeda, el centro y sur de Cuyo, y la zona de Salta y Tucumán en el Norte Argentino, cuentan con buenos registros globales e históricos de Heliofania (horas de Sol) y recientes de radiación Solar y UV; El SMN aún no ha incorporado en sus determinaciones equipos de medición de radiación solar directa [3]. Otro organismo que depende del estado Argentino es la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, responsable de las actividades satelitales de investigación, desarrollo y transferencia de datos. En colaboración con la NASA (National Aeronautics and Space Agency, EEUU) y la ESA (European Space Agency) ha desarrollado mapas de radiación solar, proveyendo información satelital, sobre regiones nacionales donde hoy se han instalado las más importantes plantas solares fotovoltaicas del país en Cuyo (San Juan, y Mendoza, Figura 5). Esta información está además supeditada a información terrestre que en algunos casos es muy escasa. [4]

### 3. ACTUALIDAD

En el año 2002 se crea el grupo de Energía Solar GERSolar de la Universidad Nacional de Lujan (UNLu), ubicada a 100 km al oeste de la ciudad de Buenos Aires. Este grupo ha adquirido prestigio en función de sus trabajos teóricos y prácticos de investigación, realizando el primer mapa solarimétrico del territorio Nacional basado en combinaciones de medidas terrestres y satelitales [5].

Desde el año 2010 el grupo GERSolar, ha comenzado con una sistemática observación de radiación solar directa en los predios de la Universidad Nacional de Lujan [2], Buenos Aires

En la actualidad este grupo está desarrollando un programa con la adquisición de 32 equipos de radiación solar directa que comenzaron a funcionar a finales del año 2015, con apoyo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); Las estaciones se han de ubicar en la zona de la Pampa húmeda, que abarcan, la provincia de Buenos Aires, Sur de Santa Fe, Sur de Córdoba, y Este y centro de La Pampa. Abarcando un área de registro de casi 500 000 km<sup>2</sup> (ver Figura 6) [2]



Figura 6. Red Solarimétrica del programa de Gersolar.

Los mapas solares del Atlas solar de la república Argentina [5], muestran que las provincias de Salta, Jujuy y Catamarca en el Noroeste, cuentan con fuerte radiación solar, que se ve reflejada en los trabajos satelitales de NASA, y CONAE [8] (Figura 5). En ellas se dan una serie de variables meteorológicas que las hacen aptas, para la aplicación de plantas solares térmicas de concentración.

Esta región, en sus altiplanicies, cuenta con la zona conocida como Puna de Atacama, región que se halla por encima de los 3200 m s/nivel del mar, abarcando grandes extensiones de territorio, con salares de altura, volcanes, que llegan a los 6100 m s/nivel del mar y lluvias escasas. Las provincias del Noroeste argentino, como Jujuy, Salta y Catamarca, solo poseen registros satelitales que dan a esta región valores muy altos de radiación solar sobre el terreno, semejantes en comparación a los datos del país hermano Chile (Figura 5) según datos satelitales esta región tiene en promedio anual valores del orden de 3500 Kwh/m<sup>2</sup>. Lo que representa por día valores del orden de 1200 a 1250 Wh/m<sup>2</sup>. Esta región abarca una superficie del orden de 140.000 Km<sup>2</sup> del territorio, conocido como la Puna de Atacama, con valles inter-montanos, áreas volcánicas y de grandes salares en la pre-cordillera de los Andes.

En las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca, durante el siglo XX, en las décadas de 1940 a 1960, se instalaron centrales meteorológicas repartidas por todo ese territorio, que permiten hoy incluso tener una idea global de las variables meteorológicas locales. Sus observaciones sufrieron interrupciones como consecuencias de las variadas políticas gubernamentales del País. Estos datos aún están presentes en los registros históricos del SMN. Los datos de radiación solar de aquella época no existen, salvo la heliofania (horas de Sol) medidas en algunas de ellas.

La región ubicada en las provincias de Cuyo, que son la Rioja, San Juan, Mendoza, y San Luis se puede considerar como la segunda región en importancia solarimétrica del país. Los registros básicos de determinaciones y mediciones tanto satelitales como terrestres, han determinado un promedio anual de radiación para esa región del orden de 2400 a 3200 kW/m<sup>2</sup> lo que daría un promedio diario del orden de 830 a 1100 Wh/m<sup>2</sup>

Esta zona es la que hoy se está eligiendo para la instalación de plantas solares fotovoltaicas, como la planta instalada en el Valle del Ullun, de 20 MW, en San Juan y Mendoza, así como las plantas de la provincia de San Luis. Cada una de estas provincias es de alto poder económico, producto de las extensas zonas agropecuarias, y mineras que se desarrollan en ellas. (Figura 5).

En el Sur del territorio de las provincias de Cuyo, existe la región conocida como del Comahue, abarcando las provincias de Neuquén, Rio Negro y el sur de la Pampa, con una extensión que supera los 300.000 km<sup>2</sup>, con estudios climáticos que permiten evaluar la región como apta para Energía Solar térmica siendo la radiación solar global anual determinada en esta región del orden de 1800 a 2100 kW/m<sup>2</sup>, lo que daría por día valores comprendidos entre 650 y 750 Wh/m<sup>2</sup>. Esta zona tiene una de las más grandes extensiones de actividad horto-frutícola del país, y con una gran demanda de Energía Eléctrica. (Figura 5)

Finalmente debemos decir que en algunas otras áreas del país, como las provincias de Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y el Norte de la provincia de Buenos Aires, las condiciones de radiación solar global promedio anual rondan los 1600 a 2000 kW/m<sup>2</sup>, dando por día un promedio del orden de 500 a 700 Wh/m<sup>2</sup>; esto ha permitido que durante el año 2015 se han encargado pequeños proyectos de plantas fotovoltaicas de 1 a 5 MW de potencia unitaria Estas condiciones están muy supeditadas a las condiciones de

heliofania reinante. La región ubicada entre Buenos aires, Santa fe y Entre Ríos, es de alta concentración de nubosidad por su proximidad a las zonas húmedas de la Mesopotamia argentina, océano Atlántico y el estuario del Río de La Plata. [7].

## 4. CONCLUSIONES

Este breve análisis, determina que en el territorio de la República Argentina, existen cuatro zonas muy bien diferenciadas para el aprovechamiento de la Energía Solar, tres de ellas con condiciones que ameritan proyectos de investigación y transferencia hacia el campo de las plantas solares térmicas de concentración, ya sean de receptor central, captadores cilindroparábolicos o del tipo Fresnel lineal. Los sistemas solares de concentración con disco parabólico y motor Stirling, si bien se llevan a delante como modelos prototipos, su desarrollo es aún incipiente y necesitan más tiempo para alcanzar un grado de madurez adecuado para su implantación comercial a gran escala.

La industria nacional de Argentina y los sistemas legales nacionales, provinciales y locales, en los últimos meses del año 2015, y principios del 2016, han desarrollado nuevos campos para las Renovables.

Los sistemas Universitarios o de Ciencia y Técnica que están haciendo desarrollos y transferencia en energía Solar-térmica son muy escasos, Solamente la Universidad Nacional de la Plata [1] el instituto Universitario Aeronáutico y la Universidad nacional de Catamarca llevan adelante un proyecto de investigación académico de características de alta concentración solar. Esta grupo de trabajo, en conjunto con la Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires; CEMECA, tienen la capacidad para llevar adelante proyectos de factibilidad, integración, desarrollo y transferencia de plantas solares térmicas.

De todas formas y a pesar de la escasez de datos, en medidas de radiación solar directa, las determinaciones satelitales y las globales, dan idea de la solarimetría en diferentes partes del territorio nacional. Una de las premisas es colocar nuevos y mejores detectores de radiación solar directa, especialmente en la región de las provincias del Noroeste argentino.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Instituto Geográfico Nacional, IGN, <http://www.ign.gob.ar/>
- [2] Grupo de Estudios de la Radiación Solar, GERSolar, <http://www.gersol.unlu.edu.ar/>
- [3] Servicio Meteorológico Nacional (SMN), <http://www.smn.gov.ar/>
- [4] Solargis, <http://solargis.info/>

- [5] H. Grossi Gallegos; R. Righini; Atlas solar de la República Argentina, Registro de la propiedad intelectual N° 465988 del 09 de marzo del 2006.
- [6] Universidad nacional de La plata (UNLP), Facultad de ciencias astronómicas y geofísicas (FCAG), Área Meteorología.
- [7] Energías Estratégicas, <http://www.energiaestrategica.com/>
- [8] Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), <http://www.conae.gov.ar/index.php/espanol/>



## CAPÍTULO 5

# INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS SOBRE O POTENCIAL SOLAR NO BRASIL

### CONTEÚDO

1. Introdução.....	2
2. Evolução histórica da medição solar no brasil.....	2
3. Descrição das principais redes existentes.....	4
3.1. Rede de heliógrafos INMET.....	4
3.2. Rede do INMET (Automáticas).....	4
3.3. Rede CPTEC.....	4
3.4. SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais).....	6
3.5. Rede Solarimétrica de Alagoas e Pernambuco.....	7
3.6. Outras redes proprietárias.....	8
4. Análise das informações solarimétricas existentes.....	8
5. Referências.....	11

## 1. INTRODUÇÃO

Com a perspectiva de difusão ampla da energia solar termoelétrica de grande porte (plantas da ordem de 100 MW) em escala comercial, dentro de um horizonte de 10 anos (2025) seria apropriado ao sistema elétrico brasileiro acompanhar atentamente a evolução dessa tecnologia, realizar P&D e avaliar detalhadamente o potencial do recurso disponível no Nordeste do Brasil.

A tecnologia descrita acima trata-se da concentração da irradiação solar através de espelhos parabólicos bidimensionais em um tubo absorvedor ou de concentradores de Fresnel lineares ou tridimensionais (Torre de potência). O tubo absorvedor ou a cavidade absorvedora “enxerga” praticamente só a irradiação direta e uma fração muito pequena (desprezível) da fração difusa. Assim, o projeto, a avaliação do seu desempenho e a sua localização ótima dependerá fortemente do conhecimento da irradiação solar direta.

Segundo levantamento recente feito por Tiba [1], a irradiação solar direta não faz parte das medidas das Estações Meteorológicas e são praticamente inexistentes.

Pelo que antecede, diferentes modelos que relacionam a irradiação solar direta (incidência normal) com a irradiação solar global tem sido desenvolvidos como alternativas para mitigar essa situação de grande escassez de dados temporais e espaciais.

Os dados experimentais medidos com os melhores equipamentos atuais (piranômetros e piroheliômetros de primeira classe) resultam em incertezas associadas a medição da radiação solar hemisférica e irradiação solar direta normal, de +25 W/m<sup>2</sup> a -100 W/m<sup>2</sup> para piranômetros, e  $\pm 25$  W/m<sup>2</sup> para piroheliômetros. Valores típicos para ângulos zenitais no intervalo de 30° a 70° [2]. Por outro lado, os melhores modelos existentes (ERBS, PEREZ e SKARVEIT & OLSETH) [3] [4] [5] mostram uma viés menor que 50 W/m<sup>2</sup> (menor que 5% considerando a escala plena de 1000 W/m<sup>2</sup>) e desvio médio quadrático menor que 100 W/m<sup>2</sup> (menor que 10%).

Conforme será visto nos capítulos posteriores, existem dados horários de razoável qualidade para irradiância solar global e na medida em que os modelos mencionados acima sejam adequadamente calibrados com as informações de alta qualidade, eles poderão ser utilizados para a estimativa do potencial da irradiação solar direta no Brasil com um erro da ordem dos erros produzidos por medidas com equipamentos da primeira classe.

## 2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MEDIÇÃO SOLAR NO BRASIL

As informações solarimétricas mais antigas do Brasil referem-se a dados sinópticos de horas brilho de Sol de uma extensa rede de medidas meteorológicas do INMET. Historicamente, as medições de horas de brilho solar foram realizadas para fins agrícolas e não energéticos. Existe um banco de dados digital com 291 estações meteorológicas convencionais que cobre o período de 1961 a 2010.

Na segunda metade da década de 1970, o INMET instalou 21 estações de medições piranométricas que funcionaram por aproximadamente 10 anos (1978-1990). Cabe ressaltar também, os esforços regionais e locais de inúmeros pesquisadores que fizeram medição da hora de brilho solar e radiação solar com actinógrafos (TIBA, et al., 2001). Na segunda metade da década de 1980, a CEMIG estabeleceu uma rede piranométrica de 15 estações e mediu, aproximadamente, durante 04 anos.

Em 2001, Tiba et al. lançaram o Atlas Solarimétrico do Brasil, dados terrestres. Tratou-se da elaboração de um Atlas Solarimétrico Preliminar para o Brasil [6], a partir do levantamento de dados solarimétricos já existentes, não sendo previsto nenhum tratamento adicional de dados actinográficos ou heliográficos. O Atlas é uma síntese dos diversos levantamentos solarimétricos locais, realizados anteriormente por diferentes pesquisadores. Este conjunto de dados exibiu uma fragmentação espacial, temporal e problemas de padronização. Nesse Atlas, os dados foram analisados, harmonizados e organizados em um banco de dados de informações solarimétricas. Foram elaborados 12 mapas mensais e um anual das horas de brilho solar e irradiação solar global, e um banco de dados com mais de 570 locais no Brasil e países limítrofes.

Em 1998, foi lançado o Atlas de Irradiação Solar do Brasil [6] com modelagem da irradiação solar mensal total via imagens de satélite. O referido Atlas é uma consolidação da irradiação global, computados com o algoritmo do modelo físico BRAZILSR, com base em dados de satélite geoestacionário. O modelo BRASILSR foi baseado no modelo físico IGMK (Alemanha) transferido ao LABSOLAR (UFSC) no contexto de um acordo de cooperação. O algoritmo mencionado utilizou os dados do satélite GOES. Os dados calculados foram validados com dados coletados pela rede de estações do INMET (1985-1986) do LABSOLAR e ABRAÇOS-INPE (1995-98). Mais recentemente, em 2007, dentro do contexto do projeto SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment, o referido Atlas foi atualizado e ampliado. O projeto SWERA foi executado no Brasil por meio de cooperação entre diversas instituições do setor energético e institutos de pesquisa nacionais e internacionais (LABSOLAR/UFSC, CEPEL, NREL, CBEE, ELETROBRÁS, NOS, etc.) sob a coordenação da Divisão de Clima e Meio Ambiente do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos ligado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DMA/CPTEC/INPE). O projeto foi financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF).

Esses esforços para melhorar a base de dados solarimétricos, cujo renascimento ocorreu na segunda metade da década de 1990, também provocou o surgimento de redes de medições de qualidade. A rede de medição Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA), coordenada pelo CPTEC, começou a operar em 2003 e consta de 12 estações terrestres espalhada pelo Brasil: 1 no Norte, 4 no Nordeste, 4 no Centro-Oeste, 1 no Sudeste e 2 no Sul. Essas estações medem as seguintes variáveis solarimétricas em escala de minuto: radiação solar global, difusa e direta normal. Atualmente a rede SONDA continua operacional e produzindo informações de qualidade. O Grupo FAE-DEN-UFPE, em colaboração com UFAL, instalou uma rede de medição da irradiação solar global com 9 estações no estado de Alagoas e 3 em Pernambuco. Essas estações de alta qualidade (calibração anual dos sensores) são operacionais desde 2008. Em julho de 2012 completará uma série histórica de 5 anos, em escala de minutos.

Existem hoje em dia, em operação, minirredes de altíssima qualidade em MG, PB e Nordeste do Brasil.

Finalmente, cabe ressaltar que o CPTEC e o INMET possuem extensas redes de medições meteorológicas automáticas com aquisição remota via satélite. Essas estações incluem piranômetros baseados em fotodiodos.

### **3. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS REDES EXISTENTES**

#### **3.1. Rede De Heliógrafos INMET**

A Rede de heliógrafos INMET é constituída de 291 estações meteorológicas convencionais (não automáticas) distribuídas pelo Brasil (INMET, 2012). Realiza três medições ao dia (00:00, 12:00, 18:00 GMT, de acordo com as normas técnicas internacionais da CIMO/CBS-OMM). As variáveis atmosféricas medidas são: precipitação ocorrida nas últimas 24 horas; temperatura do bulbo seco; temperatura do bulbo úmido; temperatura máxima; temperatura mínima; umidade relativa do ar; pressão atmosférica ao nível da estação; insolação, direção e velocidade do vento.

#### **3.2. Rede do INMET (automáticas)**

Uma estação meteorológica de superfície automática do INMET é composta por uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc.), que integra os valores observados minuto a minuto, automaticamente, a cada hora. Os sensores meteorológicos foram especificados de acordo com as normas da OMM (CIMO, 2010). O sensor de irradiação solar global é um sensor de fotodiodo classificado como de segunda classe. A Fig. 1 mostra uma Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática típica da rede de medição do INMET.

A rede contém cerca de 500 estações, é o resultado do processo de expansão e modernização iniciado em 2007. Os dados, em tempo real ou série histórica dos últimos 90 dias, podem ser acessados gratuitamente pelo site: <http://www.inmet.gov.br/> . As estações estão razoavelmente distribuídas pelo país, com exceção de partes das regiões Centro-Oeste e Norte, Fig. 2.

#### **3.3. Rede CPTEC**

A rede meteorológica do CPTEC é constituída de cerca de 260 estações meteorológicas automáticas (PCDs: Plataformas Coletoras de Dados) com retransmissão pelos satélites SCD e CBERS.



Figura 1. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática – Município de Luiz Eduardo Magalhães, BA

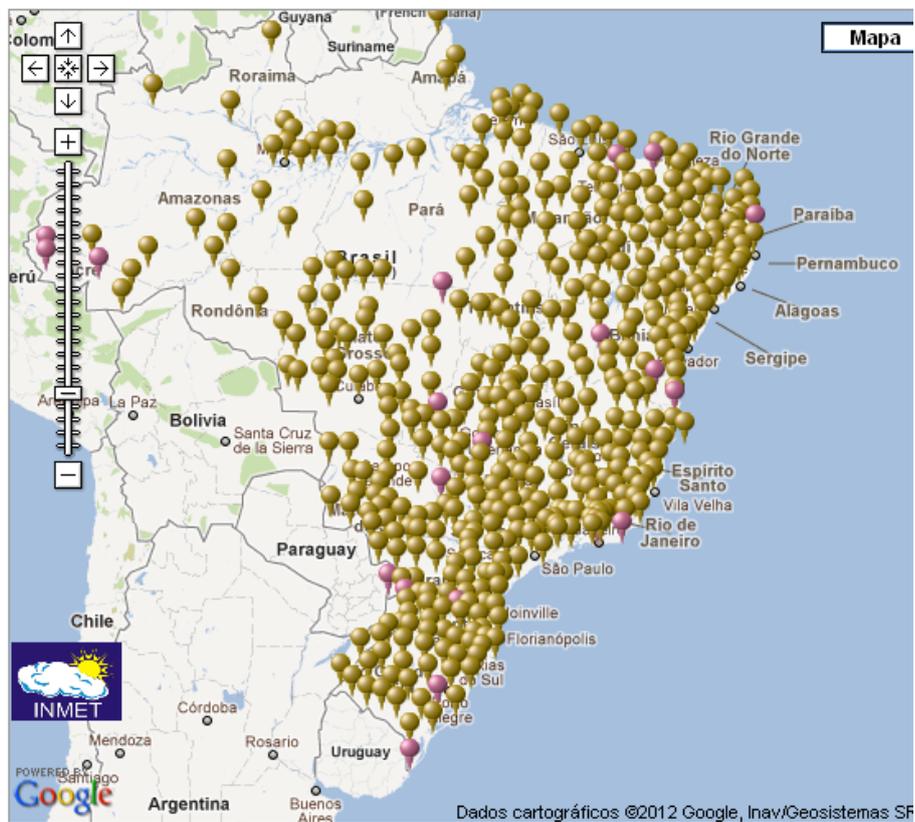


Figura 2. Distribuição das Est. Meteorológicas de Superfície Automática da Rede INMET

As estações foram instaladas em 1998 e as informações, em escala diária, são disponibilizadas pela internet no site <http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>. O sensor de medição da irradiação solar global é um sensor fotovoltaico. As estações (em vermelho) são desigualmente distribuídas pelo país, concentradas em poucos estados do Nordeste e do Centro-Oeste, Figura 3.



Figura 3. Estações Meteorológicas da rede CPTEC (em vermelho)

### 3.4. SONDA (Sistema De Organização Nacional De Dados Ambientais)

A rede SONDA é um projeto desenvolvido e coordenado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) para coletar dados destinados a levantar e melhorar a base de dados sobre os recursos de energia solar e eólica no Brasil. A rede SONDA é constituída de 10 estações próprias e 05 parceiras, cuja distribuição espacial pode ser vista na Fig. 4, [9], iniciou sua operação gradativa em 2003, completou a implantação em 2007 e está operacional.

Em comparação às outras redes existentes, é uma rede moderna e de alto desempenho. Os dados de algumas séries históricas podem ser acessados gratuitamente pelo site: <http://sonda.ccst.inpe.br/infos/index.html>

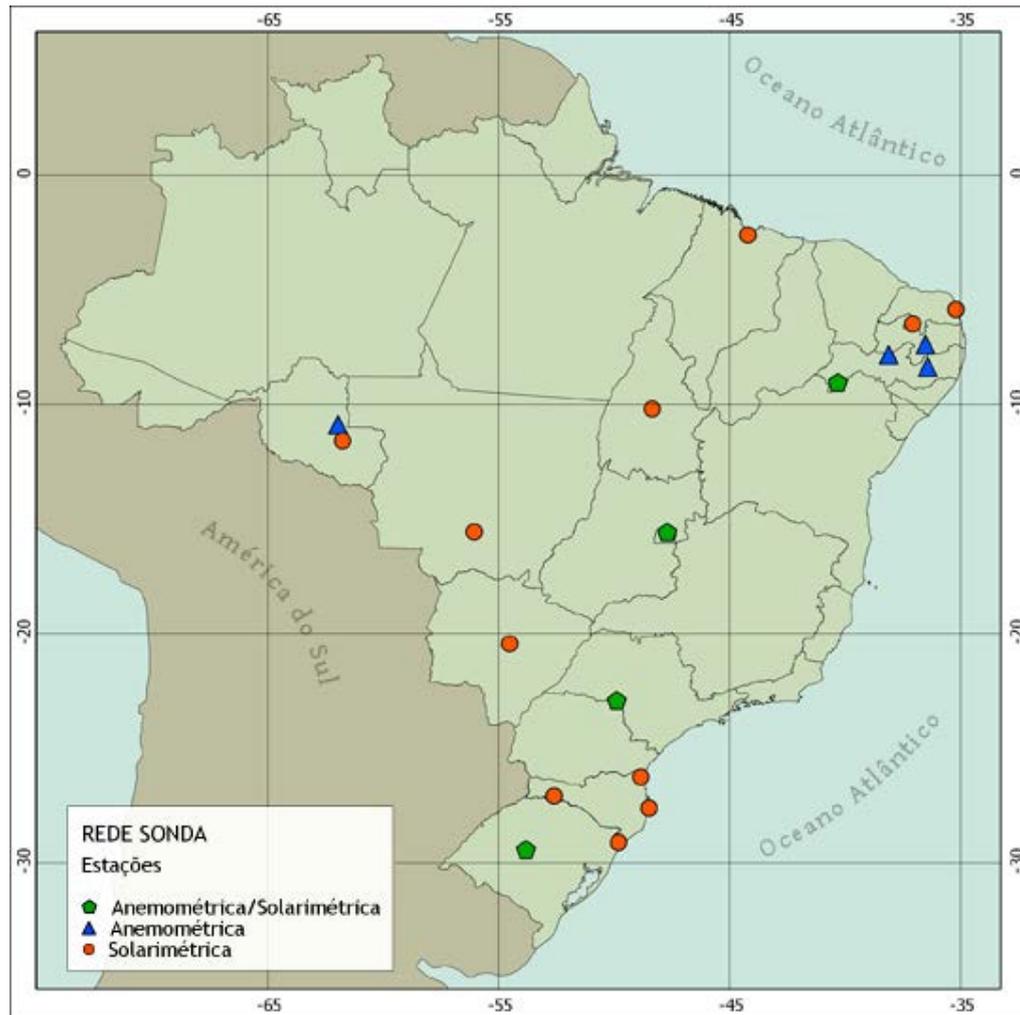


Figura 4. Localização das estações da rede SONDA

### 3.5. Rede solarimétrica de Alagoas e Pernambuco

A Rede Solarimétrica de Alagoas é constituída de 9 estações padrões e foi implantada e comissionada em junho-agosto de 2007, [11]. A rede solarimétrica completou cinco anos de medição contínua e bem calibrada (12 em 12 meses) em junho de 2012. O mapa de localização das estações é mostrado na Fig. 5.

A estação solarimétrica padrão é formada por um conjunto de 10 sensores que medem: a velocidade e direção do vento, a temperatura e umidade do ar, a irradiação solar global (piranômetro Eppley B&W modelo 8-48), a irradiação solar PAR e a iluminância no plano horizontal e nos planos verticais: Norte, Sul, Leste e Oeste. A minirrede de Pernambuco consta de 03 estações localizadas em Recife, Pesqueira e Araripina com a mesma configuração da rede AL (Alagoas).

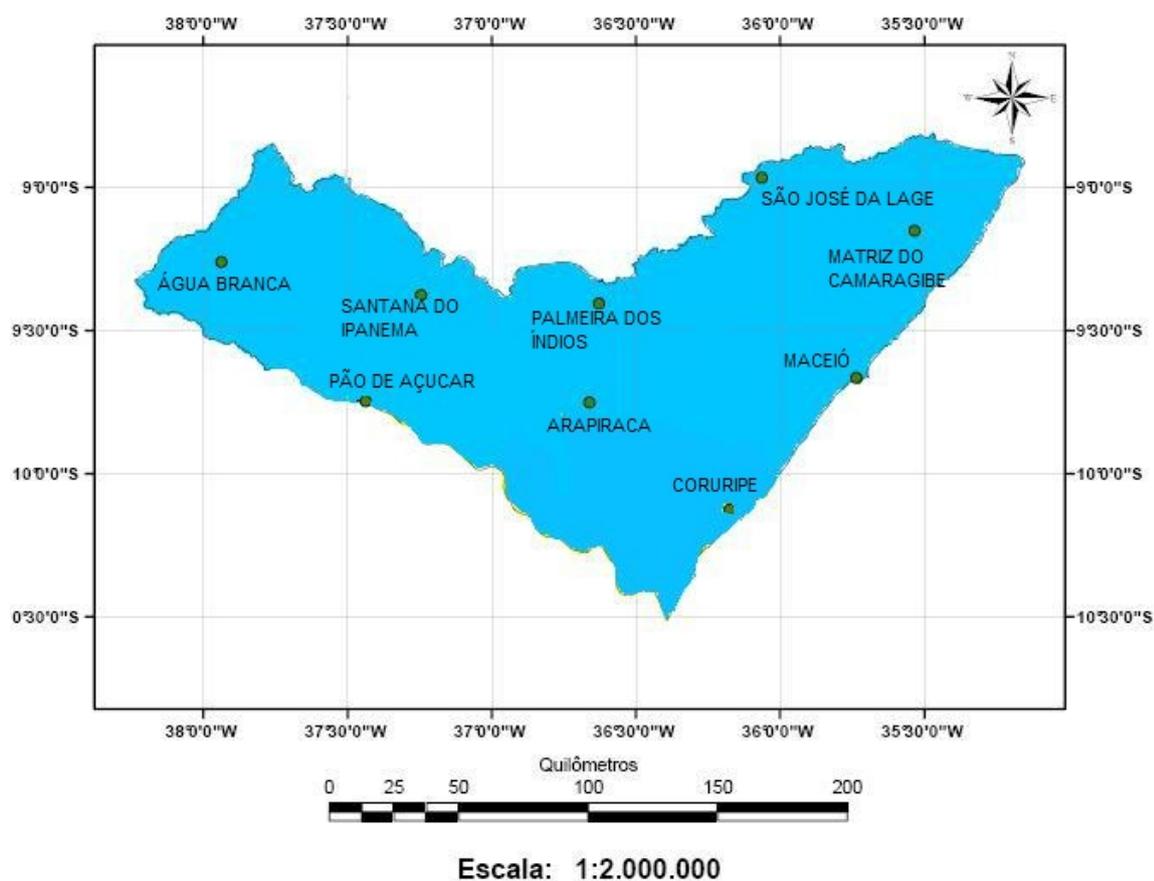


Figura 5. Mapa de localização das estações solarimétricas de AL

### 3.6. Outras redes proprietárias

Existem hoje, em operação, diversas redes solarimétricas de alto desempenho operadas por diversas companhias energéticas como ENERGISA (3 estações na PB), CEMIG (05 estações em MG) e CHESF (15 estações no Nordeste do Brasil). A rede ENERGISA tem 05 anos de dados com calibração a cada 18 meses e CEMIG e CHESF com aproximadamente 03 anos de medição.

## 4. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES SOLARIMÉTRICAS EXISTENTES

As principais redes que existiram ou existem, o número de estações solarimétricas, a abrangência espacial, o período de medição e a situação atual, estão sumarizados na Tabela 1.

As informações obtidas pelas principais redes de medição anteriormente citadas foram analisadas conforme os seguintes parâmetros: configuração das estações, variável solarimétrica medida, qualidade do sensor de irradiação solar, série temporal (período), escala de medição, informações e registros sobre calibração e grau de disponibilização das informações. O resultado de forma resumida também pode ser vista na Tabela 1.

As principais conclusões (do ponto de vista do aproveitamento energético do recurso solar) sobre as redes existentes no país são:

- A rede de heliógrafos Campbeel-Stokes (INMET C) foi criada com propósito de subsidiar os estudos em agrometeorologia e cumpriu sua função durante parte considerável da sua existência. Não foi modernizada (heliógrafos eletrônicos) e mostra uma crescente taxa de falhas;
- Existem, operacionais, redes de medição da irradiação solar global horizontal, em escala diária e com boa cobertura espacial (INMET AUTOMATICA e CPTEC AUTOMATICA) e temporal;
- As redes INMET e CPTEC são limitadas pelo uso de sensores de segunda classe com resposta espectral reduzida (até 1100 nm) e nenhum registro de calibração;
- Houve uma paralisação progressiva das atividades em energia solar em geral entre meados de 1975 e fins de 1980 que obviamente também gerou repercussões na medição da irradiação solar no Brasil. No início do século XXI há uma retomada dessas atividades;
- O reinício é caracterizado por dois comportamentos distintos: 1) a automatização e ampliação no número das estações (INMET e CPTEC) com a manutenção dos sensores anteriores e 2) estabelecimento de redes com estações modernas (sensores de maior precisão, ampliação do seu número para medição de outras variáveis e escalas temporais menores), do ponto de vista das necessidades da engenharia solar (SONDA, Rede AL e PE, CHESF, ENERGISA E CEMIG);
- Ressalta-se a rede de medição de AL pelo controle de qualidade das informações obtidas. Isso foi feito mediante calibração (com registros documentais) in situ dos sensores de irradiação solar de forma periódica (12-15 meses);
- A rede SONDA e as redes proprietárias CEMIG, ENERGISA e CHESF se caracterizam por utilizarem os sensores que são o estado da arte no mundo para produção de informações para grandes centrais solares termoeletricas e fotovoltaicas.

**Tabela 1. Resumo das Redes Solarimétricas existentes no Brasil**

<b>NOME DA REDE</b>	<b>NÚMERO DE ESTAÇÕES</b>	<b>ABRANGÊNCIA</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>ESCALA, COMPONENTE, CLASSE SENSOR E OUTROS</b>	<b>SITUAÇÃO ATUAL</b>
INMET CONVENCIONAL	291	Brasil	1960-Atual		Operacional precário
CPTEC AUTOMATICA	260	Brasil	1998-Atual	Integração 3 h-Global, Pública; Sensor classe 2	Operacional precário
INMET AUTOMÁTICA	500	Brasil	2007-Atual	Integração 1 h - Global Pública; Sensor Classe 2	Operacional
CPTEC SONDA	15	Brasil	2003-Atual	Integr. 1 min, Global, difusa e direta, Pública; Sensor classe 1	Operacional
UFPE-UFAL	09	Alagoas	2011-2015	Integr. 1 min, Global, Pública; Sensor classe 1	Desativada
CEMIG	05	Minas Gerais	2012-Atual	Integr. 1 min, Global, difusa e direta, Pública; Sensor classe 1	Operacional
ENERGISA	03	Paraíba	2012-Atual	Integr. 1 min, Global, difusa e direta, Pública; Sensor classe 1	Operacional
CHESF	15	NE Brasil	2013-Atual	Integr. 1 min, Global, difusa e direta, Pública; Sensor classe 1	Operacional

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] TIBA, C., FRAIDENRAICH, N., GROSSI-GALLEGOS, H., LYRA, F.J.M. (2004). Brazilian Solar Resource Atlas CD-ROM, Renewable Energy 29 (2004) 991–1001.
- [2] MYERS, D. R. (2003). Solar radiation modeling and measurements for renewable energy applications: data and model quality, NREL/CP-560-33620, Golden CO, USA.
- [3] ERBS, D. G., KLEIN, S. A. and DUFFIE, J. A. (1982). Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly averaged global radiation, Solar Energy, Vol. 28, pp. 293-302.
- [4] PEREZ, R., SEALS, R., ZELENKA, A., INEICHEN, P. (1990). Climatic evaluation of models that predict hourly direct irradiance from hourly global irradiance: prospects for performance improvements, Solar Energy, Vol. 44, no. 2, p. 99-108.
- [5] SKARVEIT, A., OLSETH, J. A. (1987). A model for the diffuse fraction of hourly global radiation, Solar Energy, Vol. 38, p. 271-4.
- [6] COLLE, S.; PEREIRA, E. B. (1998). Atlas de Irradiação Solar do Brasil - Primeira versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície Edição. Florianópolis: LABSOLAR / NCTS, 1998, p. 79-104. [4]
- [7] CPTEC (2012). V, disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>>. Acesso em: abril de 2012.
- [8] INMET (2012). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: abril de 2015
- [9] SONDA, (2012). Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/infos/index.html>>. Acesso em: 05 de abril de 2015. [8]
- [10] WMO, CIMO (2010). Draft First Supplement to the Seventh Edition (2008) of the CIMO- Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.
- [11] TIBA, C. , SOUZA, J. L. E MELO, R.O., 2009. Atlas Solarimétrico Preliminar e Disseminação da Tecnologia Solar no Estado de Alagoas, Relatório Técnico Final, ECV-153A, ELETROBRAS
- [12] TIBA, C., GIZ (2012). Especificações das informações solarimétricas para aplicações FV financiáveis (Bankability), INT-BRA-PE 14/2012, GIZ





0

**RED CYTED 714RT0487  
ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN  
PARA IBEROAMÉRICA (ESTCI)**

**Informe Final de la Tarea 2:**

**“Marco Jurídico existente en los Países Objetivo de la Red (Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México) en relación con los Sistemas Solares Térmicos de Concentración (SSTC)”**



## I. INTRODUCCIÓN

De modo similar a lo que sucede con el conocimiento del potencial solar en los cinco países latinoamericanos objeto de la Red ESTCI, también resultaría de gran utilidad conocer el marco legal que existe en cada uno de ellos en relación con los Sistemas Solares Térmicos de Concentración (SSTC). Es interesante conocer si hay medidas incentivadoras para la instalación de sistemas de este tipo (si se encuentra bonificada de algún modo la venta de la energía que produzcan y/o la inversión que se realice). Esta información pondrá de manifiesto el interés que para las empresas puede tener la instalación de este tipo de sistemas en esos países. Esta actividad de recopilación y búsqueda de información relacionada con el marco legal ha sido realizada dentro del marco de trabajo de la Tarea 2 de la Red E.S.T.C.I., y los resultados se exponen en este informe final de dicha Tarea.

El informe final de la Tarea 2 de la Red ESTCI se compone de esta breve introducción y de cinco capítulos, cada uno de los cuales contiene la siguiente información:

- Capítulo 1: Legislación aplicable para los S.S.T.C. en Chile
- Capítulo 2: Legislación aplicable para los S.S.T.C. en México
- Capítulo 3: Legislación aplicable para los S.S.T.C. en Colombia
- Capítulo 4: Legislación aplicable para los S.S.T.C. en la República Argentina
- Capítulo 5: Legislación aplicable para los S.S.T.C. en Brasil

Dentro de cada Capítulo, siempre que ha resultado factible, la información se ha estructurado en cuatro bloques:

- Legislación relacionada con el impacto medioambiental
- Legislación relacionada con la comercialización de la energía producida
- Legislación relacionada con estímulos públicos e incentivos
- Otra legislación relevante

De la información recopilada en la Tarea 2 se ve que la situación en los diversos países es muy diferente en algunos casos. Así, por ejemplo, mientras que en Colombia se aprecia que la legislación existente es muy general, y se tiene la impresión que las personas encargadas de redactar dicha legislación no tenían conocimientos sobre los SSTC, en otros países este tipo de sistemas están claramente mencionados en algunas de las leyes existentes. En algunos países existe una mayor liberalización en el sector energético, como es el caso de Chile, y esto obliga a una mayor competencia entre las diversas fuentes energéticas posibles. Pero en general, se aprecia un interés creciente entre los legisladores de promover los sistemas energéticos renovables, entre los cuales los SSTC pueden tener un papel importante en aquellas zonas que poseen un alto nivel de radiación solar directa, las cuales existen en los cinco países analizados. En los cinco

capítulos que constituyen este informe final se facilita información más detallada para cada uno de los países.

# **CAPÍTULO 1**

## **LEGISLACIÓN APLICABLE PARA LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN EN CHILE**

### **CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. LEGISLACIÓN SOBRE EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.....	2
3. LEGISLACIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.....	3
4. LEGISLACIÓN SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.....	4
5. OTRA LEGISLACIÓN RELEVANTE.....	5
6. REFERENCIAS.....	6

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El Sol es una de las fuentes de energía más constantes, a causa de la abundancia y la alta irradiación que genera en la capa exterior de la atmósfera. La energía recibida en la superficie de la tierra recibe el nombre de irradiancia, la cual depende de la hora del día, la inclinación de los rayos de sol y la cobertura de las nubes.

Esta tecnología puede ser aprovechada de diversas maneras, tanto para generar electricidad, como para aprovechar el calor. Sin embargo, una de sus principales barreras es que sólo se recibe durante el día, por lo que se requiere combinarla con otras fuentes de energía o bien, asociarla a sistemas de almacenamiento. La energía solar puede ser transformada directamente en energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos, indirectamente a través de la concentración solar térmica que alimente un ciclo termodinámico de potencia y puede ser utilizada también para calentar agua por medio de captadores solares.

La generación de electricidad con sistemas solares térmicos de concentración, conocida tradicionalmente con las siglas CSP, del inglés: Concentrated Solar Power, y más recientemente con las siglas STE, del inglés Solar Thermal Electricity— es un tipo de energía solar térmica que utiliza espejos o lentes para concentrar una gran cantidad de luz solar sobre una superficie pequeña. La energía eléctrica es producida cuando la luz concentrada es convertida en calor, que impulsa un motor térmico—usualmente una turbina de vapor— conectado a un generador de electricidad.

El mercado de STE ha aumentado de forma notable su comercialización y capacidad de generación desde el año 2007, situándose la potencia total instalada en el mundo en 4940 MW a finales de 2015, cuando se añadieron más de 400 MW de potencia [1]. Aun así, este crecimiento se encuentra muy por debajo del protagonizado por la energía solar fotovoltaica, que en las mismas fechas contaba ya con más de 230 GW instalados a nivel global [2].

Siendo una tecnología aún incipiente, en Chile se está comenzando a explorar dicho campo, por lo que no se cuenta todavía con legislaciones suficiente para aplicarlas a los sistemas solares térmicos de concentración, solo se rigen por algunas leyes generales aplicadas a energías renovables y normativas propuestas por comisiones gubernamentales.

## **2. LEGISLACIÓN SOBRE EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN**

Los sistemas solares térmicos de concentración son aun fuentes de exploración en Chile, por lo tanto no existe explícitamente una legislación que relacione este procedimiento con impactos al medio ambiente circundante. Sin embargo, lo que se practica en Chile es someter cualquier proyecto de energías renovables no

convencionales al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) que constituye un instrumento para la gestión ambiental que se materializa en el ingreso de ciertos proyectos a un Estudio de Impacto Ambiental o a una Declaración de Impacto Ambiental.

La definición acerca de si un proyecto debe ingresar al SEIA descansa en el tipo de actividades que el legislador ha decidido incorporar a la ley que regula la materia. En tal sentido, la Ley 19300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente establece en su Artículo 10 los proyectos que deben ingresar de manera obligatoria al sistema: “*los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, son los siguientes: (b) Líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje y sus subestaciones; (c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW; y (d) Reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas*”. Al no hacerse la distinción en el literal (c) entre las distintas fuentes de generación de energía, se ha entendido que todas las centrales generadoras de energía mayores a 3 MW deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En relación con estas definiciones, cabe hacer presente que el concepto de “alto voltaje” utilizado en el literal (b) ha sido criticado por la doctrina nacional que trata la materia, indicando que el concepto preciso es el de “alta tensión” [3].

El nuevo Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que entró en vigencia el 24 de diciembre de 2013, regula los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) de manera distinta, pues en éste se distingue entre permisos ambientales sectoriales de contenidos únicamente ambientales y permisos ambientales sectoriales mixtos, que tienen contenidos ambientales y no ambientales [4] [5].

### **3. LEGISLACIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.**

Chile, no tiene una legislación específica para comercializar la energía producida por los sistemas solares térmicos de concentración, pero si cuenta con una Ley que propicia la matriz energética mediante fuentes renovables no convencionales la cual es la Número 20698, promulgada el 20 de octubre del año 2013, y expone que cada empresa eléctrica que efectúe retiros de energía desde los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 megawatts para comercializarla con distribuidoras o con clientes finales, estén o no sujetos a regulación de precios, deberá acreditar ante la Dirección de Peajes del Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) respectivo, que una cantidad de energía equivalente al 20% de sus retiros en cada año calendario haya sido inyectada a cualquiera de dichos sistemas, por medios de generación renovables no convencionales, propios o contratados. En los cuales se definen los medios de generación renovables no convencionales como los que presentan cualquiera de las siguientes características:

1) Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de la biomasa, correspondiente a la obtenida de materia orgánica y biodegradable, la que puede ser

usada directamente como combustible o convertida en otros biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos. Se entenderá incluida la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios.

2) Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía hidráulica y cuya potencia máxima sea inferior a 20000 kilowatts.

3) Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía geotérmica, entendiéndose por tal la que se obtiene del calor natural del interior de la tierra.

4) Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía solar, obtenida de la radiación solar.

5) Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía eólica, correspondiente a la energía cinética del viento.

6) Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de los mares, correspondiente a toda forma de energía mecánica producida por el movimiento de las mareas, de las olas y de las corrientes, así como la obtenida del gradiente térmico de los mares.

7) Otros medios de generación determinados fundadamente por la Comisión, que utilicen energías renovables para la generación de electricidad, contribuyan a diversificar las fuentes de abastecimiento de energía en los sistemas eléctricos y causen un bajo impacto ambiental, conforme a los procedimientos que establezca el reglamento.

También define la energía renovable no convencional como aquella energía eléctrica generada por medios de generación renovables no convencionales [6].

#### **4. LEGISLACIÓN SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.**

La legislación chilena no ha entrado en detalle para estimular o incentivar el uso de sistemas solares térmicos de concentración, sin embargo, existe una Ley que establece la franquicia tributaria respecto de sistemas solares térmicos para agua sanitaria en zonas residenciales, la cual es la Número 20365, y promulgada el 11 de agosto del año 2009, pero se modificó a través de la Ley 20897, que entró en vigencia el 05 de febrero del año 2016, la cual enuncia: Las empresas constructoras tendrán derecho a deducir, del monto de sus pagos provisionales obligatorios de la Ley sobre Impuesto a la Renta, un crédito equivalente a todo o parte del valor de los Sistemas Solares Térmicos, de su instalación y mantenciones obligatorias mínimas que monten en bienes corporales inmuebles destinados a la habitación construidos por ellas, según las normas y bajo los límites y condiciones que se establecen en esta ley, así como de las normas complementarias que se establezcan en el reglamento que dictarán conjuntamente al

efecto los Ministerios de Hacienda y de Economía, Fomento y Reconstrucción, en adelante "el reglamento"

Definiciones:

Para efectos de esta ley, se entenderá por:

a) Sistema Solar Térmico para Agua Caliente de uso Sanitario o Sistema Solar Térmico: Sistema que integra un Colector Solar Térmico, un Depósito Acumulador y un conjunto de otros componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla directamente en energía térmica, la que se transmite a un fluido de trabajo y, por último, almacenar dicha energía térmica, bien en el mismo fluido de trabajo o en otro, para ser utilizada en los puntos de consumo de agua caliente sanitaria. Dicho sistema podrá ser complementado con algún sistema convencional de calentamiento de agua, sin embargo, éste no se considerará parte del Sistema Solar Térmico. El reglamento indicará los componentes que integran el Sistema Solar Térmico.

b) Colector Solar Térmico: Dispositivo que forma parte de un Sistema Solar Térmico, diseñado para captar la radiación solar incidente, transformarla en energía térmica y transmitir la energía térmica producida a un fluido de trabajo que circula por su interior.

c) Depósito Acumulador: Depósito que forma parte de un Sistema Solar Térmico, donde se acumula la energía térmica producida por los Colectores Solares Térmicos.

d) Vivienda: Los bienes corporales inmuebles destinados a la habitación y las dependencias directas, tales como estacionamientos y bodegas amparadas por un mismo permiso de edificación o un mismo proyecto de construcción, siempre que el inmueble destinado a la habitación propiamente tal constituya la obra principal.

También es importante destacar que esta ley otorgará crédito a los sistemas solares térmicos que aporten al menos 30% del promedio anual de demanda de agua caliente sanitaria estimada para la respectiva vivienda, y establecerá los porcentajes mínimos de demanda promedio anual de agua caliente sanitaria exigidos, de acuerdo a la radiación solar correspondiente a cada región geográfica que se determine [7].

## **5. OTRA LEGISLACIÓN RELEVANTE.**

Otra de las legislaciones que intervienen en el proceso de evaluación de un proyecto de energías renovables no convencionales (ERNC), en Chile, son las indicadas en la Tabla 1. Las leyes indicadas en esa Tabla no están directamente relacionadas con los sistemas solares térmicos de concentración, sin embargo, esta tecnología utiliza como energía primaria el Sol, y este es establecido por la Ley 19300 como fuente de energía renovable no convencional, y al ser considerada de esa forma entra directamente en evaluación de proyecto de ERNC.

**Tabla 1. Otras leyes aplicadas a Proyectos ERNC**

Número	Nombre	Fecha	Observaciones
D.S. N°40.	Decreto Supremo del Ministerio del Medio Ambiente	30 de octubre de 2012	Decreto en el que se aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental [8]
19880	Base de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los órganos de la administración del estado	22 de mayo de 2003	La presente ley establece y regula las bases del procedimiento administrativo de los actos de la Administración del Estado. En caso de que la ley establezca procedimientos administrativos especiales, la presente ley se aplicará con carácter de supletoria [9]

## 6. REFERENCIAS.

- [1] P. Mosquera, «Energías Renovables,» 02 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.energias-renovables.com/articulo/la-energia-termosolar-cuenta-ya-con-4-20160202>.
- [2] H. J. S, «Clean Technica,» 17 06 2015. [En línea]. Available: <http://cleantechnica.com/2015/06/17/gtm-predict-55-gw-solar-pv-installed-2015/>. [Último acceso: 22 04 2016].

- [3] G. d. Chile, *Ley 19300: Bases generales del medio ambiente*, 2010.
- [4] «Centro de la Información y Fomento de la Energías Sustentables,» [En línea].  
Available: <http://cifes.gob.cl/>. [Último acceso: 24 04 2016].
- [5] G. d. Chile, *Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental*, 2013.
- [6] G. d. Chile, *Ley 20698: Propicia la ampliación de la matriz energética, mediante fuentes renovables no convencionales.*, 2013.
- [7] G. d. Chile, *Ley 20897: Franquicia tributaria respecto a sistemas solares térmicos, Modificación 2013.*
- [8] G. d. Chile, *Decreto Supremo N°40: Aprobación del reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental*, 2012.
- [9] G. d. Chile, *Ley 19880: Base de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los órganos de la administración del estado.*



## CAPÍTULO 2

# LEGISLACIÓN APLICABLE PARA LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN EN MÉXICO

### CONTENIDO

CONTENIDO .....	1
1. MARCO LEGAL EN MÉXICO SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES EN GENERAL, Y ENERGÍA SOLAR EN PARTICULAR .....	2
2. LA “REFORMA ENERGÉTICA” EN MÉXICO .....	2
3. MARCO LEGAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS.....	3
3.1. La Ley de Transición Energética (LTE) .....	4
3.2. La Ley de la Industria Eléctrica (LIE).....	6
3.3. Ley General de Cambio Climático.....	7
3.4. Estrategia Nacional de Energía 2014-2018.....	8
3.5. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2013- 2018.....	9
3.6. Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027 .....	10
3.7. Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2013.....	12
3.8. Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).....	12
3.9. Subastas de Largo Plazo para Potencia, Energía y CEL.....	14
3.10. Otros Documentos: .....	15
4. CONCLUSIONES.....	15
ANEXO.....	17

## **1. MARCO LEGAL EN MÉXICO SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES EN GENERAL, Y ENERGÍA SOLAR EN PARTICULAR**

Este Capítulo presenta un resumen general del marco legal de las Energías Renovables en México, ya que no existe nada específico para Energía Solar Térmica de Concentración, como sí es el caso de la energía geotérmica y la bioenergía. Sin embargo, los planes y programas del Gobierno Federal Mexicano plantean elementos genéricos que aplican a la energía solar térmica también, para ello se expone un panorama del proceso de la “reforma energética” en México, y una explicación de las principales leyes que la forman.

Es importante destacar, que a pesar de la apertura del mercado eléctrico en México para productores privados, las bases de licitación no contemplan un “premio” a la gestionabilidad de la energía producida, por lo que la apuesta principal en esta administración Federal (2012-2018) se da hacia tecnologías fotovoltaicas y eólicas.

En un Anexo al final de este Capítulo se incluyen tres tablas a manera de resumen sobre el marco legal general relacionado con las energías renovables en México, las principales políticas públicas llevadas a cabo por el Ejecutivo Federal en funciones (2012-2018), y algunos de los Instrumentos económicos para la promoción de energías renovables que están vigentes.

## **2. LA “REFORMA ENERGÉTICA” EN MÉXICO**

A continuación se hace un resumen cronológico de las acciones que se han dado en materia de “consolidación de la reforma energética” en México (figura 1), con el fin de ubicar el proceso de reforma que se necesitaba para que empresas privadas pudieran invertir en el sector energético mexicano:

El 20 de diciembre del 2013 se publicó el Decreto de Reforma Constitucional, con el que se consolida la propiedad de la Nación sobre los hidrocarburos en el subsuelo y la rectoría del Estado en la industria energética.

El 11 de agosto de 2014 se publicaron las leyes secundarias donde se reformaron 12 y se expidieron nueve, con el fin de fortalecer la Reforma Constitucional.

El 30 de septiembre de 2014, se suscribió el convenio para la creación del Fondo Mexicano del Petróleo y el 31 de octubre de ese año se publicaron las leyes reglamentarias.

El 30 de junio del 2015 se realizó la presentación del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico, que sustituye al Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico

(POISE) e incluye las instalaciones y registros de centrales, así como los proyectos para la ampliación y modernización de la red nacional de transmisión y de las redes generales de distribución. Este programa da una estimación de cuáles son las tecnologías de generación eléctrica que se instalarán hacia el futuro y en donde pueden ubicarse. A partir de ello, se podrá calcular la demanda de combustibles, p.e. gas, así como la infraestructura requerida para suministrarlos.

El 24 de diciembre del 2015 se publicó la *Ley de Transición Energética (LTE)*, que abroga la *Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE)* y la *Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)*, unificando sus objetivos y disposiciones, y homologando criterios y definiciones con otras leyes de la reforma energética, particularmente con la *Ley de la Industria Eléctrica (LIE)*.

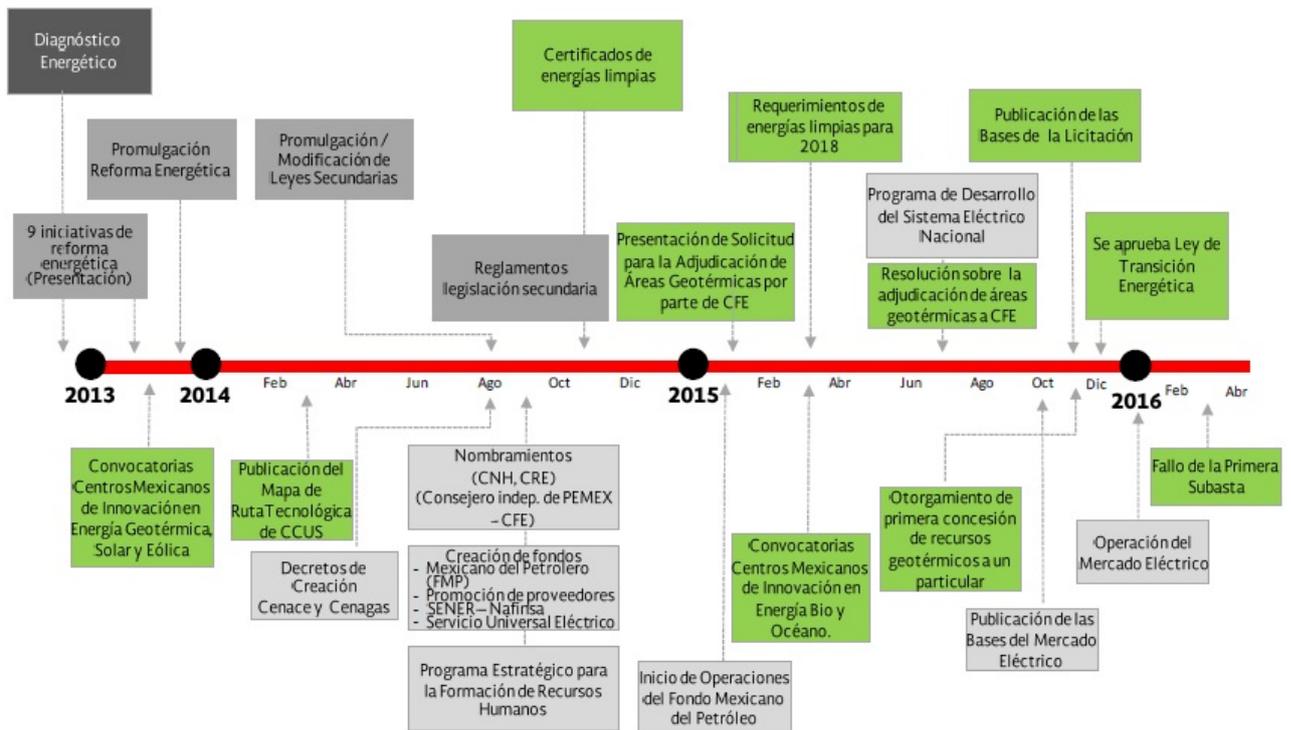


Figura 1: cronología de implementación de la Reforma Energética en México (Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029, SENER)

### 3. MARCO LEGAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS

A continuación se describen las leyes principales que tienen que ver con el apoyo al uso de tecnologías que aprovechan las principales fuentes de energías renovables en México, las cuales se enfocan principalmente al sector eléctrico nacional. Así mismo, se

describen los principales instrumentos de políticas públicas implementados por la administración pública federal en funciones (2012-2018).

### 3.1. La Ley de Transición Energética (LTE)

Ley publicada DOF: 24-12-2015

Últimas reformas publicadas DOF: (sin reforma)

Tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

Por *aprovechamiento sustentable de la energía* la LTE plantea que es “el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la Eficiencia Energética.” A su vez define la Eficiencia Energética como, “todas las acciones que conlleven a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior.”

Cabe mencionar que como concepto de *Energías Renovables* la LTE establece lo siguiente: *aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes.* Se consideran fuentes de Energías Renovables las que se enumeran a continuación:

- a) El viento;
- b) La radiación solar, en todas sus formas;
- c) El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 W/m<sup>2</sup>;
- d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
- e) El calor de los yacimientos geotérmicos, y
- f) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB).

Las principales características de la LTE son:

- a) Abroga la *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)* y la *ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE)* y demás disposiciones que se le opongan.
- b) Homologa la definición de Energías Limpias con la *Ley de la Industria Eléctrica* y mantiene el concepto de Energías Renovables establecido en la LAERFTE ya derogada.
- c) Ratifica las metas de participación mínima de “energías limpias” en la generación de energía eléctrica, previamente contenidas en la *Ley General de Cambio Climático (LGCC)* y en el *Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables (PEAER)*, agregando una meta intermedia que establece 25% en 2018, 30% en 2021 y 35% en 2024.
- d) Ofrece la posibilidad de incidir en el desarrollo de las energías renovables y la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, mediante la obligación de publicar y actualizar anualmente el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias.
- e) Amplía el espectro del Inventario Nacional de Energías Renovables al disponer que éste deba incluir la capacidad de “energías limpias”.
- f) Mejora las capacidades de coordinación con gobiernos locales para facilitar el acceso a zonas con alto potencial de fuentes de “energías limpias” para su aprovechamiento y la compatibilidad de los usos de suelo para tales fines.
- g) Dispone la elaboración y actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más limpios, con una visión de 15 y 30 años que establezca metas, políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables.
- h) Dispone la elaboración de un Programa Especial de la Transición Energética, que retome lo establecido en el PEAER e instrumento para cada periodo administrativo las acciones establecidas en la Estrategia. También dispone de la elaboración de un Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE).
- i) Dispone incorporar las externalidades en la evaluación de los costos asociados a la operación y expansión de la industria eléctrica, incluidos aquellos sobre la salud y el medioambiente.
- j) Establece un mecanismo de flexibilidad durante los primeros 4 años para las obligaciones de Certificados de Energías Limpias (CEL), permitiendo diferir sin multa hasta el 50% de las obligaciones en caso de no haber disponibilidad de cuando menos el 70% de los CEL que el mercado requiera o cuando el precio del CEL exceda 60 UDIs.

### 3.2. La Ley de la Industria Eléctrica (LIE)

Ley publicada DOF: 11-08-2014

Últimas reformas publicadas DOF: (sin reforma)

Tiene por objeto regular la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y las demás actividades de la industria eléctrica. Su finalidad es promover el desarrollo sustentable de la Industria Eléctrica (actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica) y garantizar su operación de forma continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público universal, de “Energías Limpias” y de reducción de emisiones contaminantes. Esta Ley establece la definición de “Energías Limpias” de la siguiente forma: son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Entre las Energías Limpias se consideran las siguientes:

- a) Las Energías Renovables definidas en la LTE.
- b) La energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados en los sitios de disposición de residuos, granjas pecuarias y en las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros;
- c) La energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno mediante su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su ciclo de vida;
- d) La energía proveniente de centrales hidroeléctricas;
- e) La energía nucleoelectrica;
- f) La energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas o residuos sólidos urbanos (como gasificación o plasma molecular), cuando dicho procesamiento no genere dioxinas y furanos u otras emisiones que puedan afectar a la salud o al medio ambiente y cumpla con las normas oficiales mexicanas que al efecto emita la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- g) La energía generada por centrales de cogeneración eficiente en términos de los criterios de eficiencia emitidos por la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- h) La energía generada por ingenios azucareros que cumplan con los criterios de eficiencia que establezca la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- i) La energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento geológico o biosecuestro de dióxido de carbono que tengan una eficiencia igual o superior en términos de kWh-generado por tonelada de dióxido de carbono equivalente emitida a la atmósfera a la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

- j) Tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales,
- k) Otras tecnologías que determinen la Secretaría y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con base en parámetros y normas de eficiencia energética e hídrica, emisiones a la atmósfera y generación de residuos, de manera directa, indirecta o en ciclo de vida;

Las principales características de la LIE son:

- Crea un esquema a los usuarios obligados para la adquisición de CEL, garantizando así una demanda mínima para la generación de electricidad “limpia”.
- Mandata la emisión de reglas de interconexión y transmisión para “energías limpias”.
- Determina que en la planeación, debe considerarse la infraestructura para transportar energía de las zonas de alto potencial renovable.
- Establece que las Centrales con capacidad mayor o igual a 0.5 MW y las Centrales de cualquier tamaño representadas por un Generador en el Mercado Eléctrico Mayorista requieren permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para generar energía eléctrica en el territorio nacional.
- Determina que las siguientes actividades no se consideran comercialización, por lo que no requieren permiso o registro:
  - La venta de energía eléctrica de un Usuario Final a un tercero, siempre y cuando la energía eléctrica se utilice dentro de las instalaciones del Usuario Final,
  - La venta de energía eléctrica de un tercero a un Usuario Final, siempre y cuando la energía eléctrica se genere a partir de Generación Distribuida dentro de las instalaciones del Usuario Final.
- Plantea que la Generación Distribuida contará con acceso abierto y no indebidamente discriminatorio a las Redes Generales de Distribución, así como el acceso a los mercados donde pueda vender su producción.
- Determina que la SENER fomentará el otorgamiento de créditos y otros esquemas para el financiamiento de Centrales Eléctricas de Generación Limpia Distribuida, así como la CRE fomentará la capacitación de empresas y su personal, tomando en cuenta también a profesionales y técnicos independientes, para la instalación de este tipo de Centrales.

### **3.3. Ley General de Cambio Climático**

Ley publicada DOF: 06-06-2012

Última reforma publicada DOF: 13-05-2015

Capítulo 2. Legislación aplicable para los SSTC en México

Esta ley establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico. Los objetivos particulares de esta ley son los siguientes:

- I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
- II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2º de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;
- III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;
- IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;
- V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;
- VI. Establecer las bases para la concertación con la Sociedad.
- VII. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

### **3.4. Estrategia Nacional de Energía 2014-2018**

- Por medio de la Reforma Energética se encamina el sector a resolver de fondo los graves problemas que enfrenta. Estos cambios permitirán que el país aproveche sus recursos energéticos al máximo en beneficio de la población. La Reforma abre la participación privada en el mercado de generación y comercialización, lo que permite el desarrollo de un mercado eléctrico competitivo y con mayor participación de energías renovables.
- En materia de aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad, se ha requerido implementar mecanismos de inversión concertada en las redes de transmisión, mismas que no son suficientes para impulsar el desarrollo requerido de la generación limpia. Esto ha creado fuertes cuellos de botella que dificultan al país el cumplimiento de sus objetivos.
- El desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica se mantiene con tasas de crecimiento por debajo de su potencial por falta de inversión en infraestructura de

transmisión y reglas de mercado adecuadas para asegurar inversión en tecnologías renovables de bajo costo económico para la sociedad.

- Los privados aportarán una proporción importante de la ampliación de la capacidad de generación en el Sistema Eléctrico Nacional; bajo la figura de generadores libres, nuevos actores tendrán la posibilidad de participar en el mercado eléctrico, compitiendo en igualdad de condiciones con la CFE.
- Para fortalecer los proyectos de energías renovables, se facilitará su proceso administrativo, con lo que se incrementará su participación en la matriz energética.
- La creación del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), como organismo público descentralizado, permitirá evitar conflictos de interés que surgirían si la CFE siguiera realizando el despacho económico, ya que sería generador y coordinador del sistema.
- El CENACE desarrollará nuevas capacidades para facilitar el despacho de energías renovables variables, manteniendo un funcionamiento óptimo del sistema.
- El Fondo para la Transición Energética (FOTEASE) analiza proyectos que cumplan una serie de requisitos técnicos y financieros para ser costeados. Todos los programas que dictamina el Fondo como favorables, han de tener dentro de sus lineamientos operativos una generación de voltaje que pueda ser aprovechable, una creación constante de empleos, una disminución de las emisiones de gases contaminantes o de efecto invernadero, la difusión del uso de las energías renovables o la innovación e investigación de tecnologías basadas de los fenómenos naturales.
- El perfil de la planta manufacturera de México, que destaca por la exitosa incursión en sector de alta tecnología permite prever el crecimiento de cadenas de valor para el abastecimiento del mercado interno y la exportación en energías renovables, incluyendo los diferentes elementos de la cadenas de sistemas fotovoltaicos, eólicos, geotérmicos y bio-energéticos. Este desarrollo puede adquirir un carácter regional asociado al modelo de clúster.

### **3.5. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018**

Este programa establece objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de energías renovables:

- Definir las estrategias y acciones necesarias para alcanzarlas;
- Establecer metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad;

Capítulo 2. Legislación aplicable para los SSTC en México

- Incluir la construcción de las obras de infraestructura eléctrica necesarias para que los proyectos de energías renovables se puedan interconectar con el Sistema Eléctrico Nacional;
- Asegurar la congruencia entre el Programa y los otros instrumentos de planeación del sector energía;
- Definir estrategias para fomentar aquellos proyectos que a partir de fuentes renovables de energía provean energía eléctrica a comunidades rurales que no cuenten con este servicio, estén o no aislados de las redes eléctricas, y
- Definir estrategias para promover la realización de proyectos de generación de electricidad a partir de energías renovables, preferentemente para los propietarios o poseedores de los terrenos y los sujetos de derechos sobre los recursos naturales involucrados en dichos proyectos.

Dentro del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018 se identifican los siguientes puntos:

- La capacidad instalada en 2012 era de 63745 MW y generación de 3422 GWh, se pretende una participación en generación con ER del 22.81% en el 2018 y del 26.49 en el 2027.
- El aprovechamiento térmico mediante concentradores solares y el aprovechamiento de recursos geotérmicos de media y baja entalpía aún deben ser adecuadamente cuantificados y fomentados.
- Una de las principales características de la generación de electricidad a partir de energías renovables como la solar y eólica es que son variables en intensidad y en el tiempo, es decir, se caracterizan por tener un factor de planta menor respecto a las fuentes fósiles. Es por esta razón que, además de los esquemas actualmente utilizados para compensar esta particularidad (medición neta, banco de energía y potencia autoabastecida), se requiere de una mejor planeación y una mayor flexibilidad para la operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

### **3.6. Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027**

La Prospectiva de Energías Renovables para el periodo 2013-2027 tiene múltiples objetivos, el primero de los cuales es informar a la ciudadanía, las empresas y las familias, del estado del desarrollo del sector de energías renovables y su trayectoria futura. Por ser un área de especial importancia para el gobierno de México, la Prospectiva también tiene el propósito proveer la información que permita establecer al inicio de una administración las metas para la capacidad y generación de energías renovables en el periodo de dicha administración, así como para actualizar dichas metas cuando sea necesario. Esta edición está específicamente desarrollada para proveer información específica para el año 2018, y no solamente hacia el final del periodo de planeación de 15 años (2027).

**Tabla 1: Trámites requeridos en el desarrollo de proyectos de generación eléctrica de más de 500kW**

<b>Constitución y Evaluación</b>	<b>Constitución empresarial</b>
	- Escrituración, registro de sociedad, registros fiscales y altas empresariales.
	- Constitución de sociedad de autoabastecimiento.
	<b>Evaluación de Viabilidad Ambiental y Arqueológica</b>
	- Manifestación de Impacto Ambiental-SEMARNAT
	- Registro de generación de residuos-SEMARNAT
	- Consulta de Zona Arqueológica- INAH
<b>Aprobaciones y Permisos</b>	<b>Evaluación de viabilidad de proyecto eléctrico- CFE</b>
	- Estudio de pre factibilidad de interconexión.
	- Estudio de Porteo.
	<b>Uso de agua – CONAGUA</b>
	- Uso de aguas superficiales.
	- Permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica.
	- Uso de terrenos federales.
<b>Contrataciones</b>	<b>Uso de suelo - SEMARNAT</b>
	- Cambio de uso de suelo forestal.
	- Licencia Ambiental Única.
	- Licencia de funcionamiento.
	- Trámite Unificado de Suelo.
	<b>Generación de energía - CRE</b>
	- Generación de electricidad en producción independiente.
	- Generación de electricidad en pequeña producción.
	- Generación de electricidad para autoabastecimiento.
	- Generación de electricidad en cogeneración.
	<b>Instalaciones eléctricas – CFE</b>
- Proyecto de ingeniería básica.	
- Solicitud de servicios de transmisión.	
<b>Contratos y convenios con CFE</b>	- Contrato de interconexión.
	- Contrato de respaldo.
	- Convenio de transmisión.
	- Convenio de compraventa de excedentes de energía.
	- Convenio de construcción.
	<b>Otras contrataciones y trámites</b>
	- Contrataciones y Licencias Estatales y Municipales.
	- Contratación Financiera (Banca Estatal y/o Privada).

Nota: Los trámites de agua se refieren al desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

**En relación con la energía solar térmica de alta** concentración se menciona que: “El aprovechamiento de esta tecnología estuvo enfocado a nivel global en Estados Unidos y España, aunque se esperan proyectos en distintas regiones, incluido Norte de África, América Latina y Medio Oriente; por ello la ubicación de la generación a partir de esta tecnología se diversificará en los próximos años”.

### **3.7. Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2013**

La *Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE)* surge como mecanismo encargado para el fomento de la utilización, el desarrollo y la inversión en materia de energías renovables y tecnologías limpias, así como la promoción de la eficiencia y sustentabilidad energética, y la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

#### Objetivos Estratégicos:

- I. Diversificar las fuentes de energía, dando prioridad al incremento en la participación de las tecnologías no fósiles
- II. Incrementar los niveles de eficiencia en el consumo de energía en todos los sectores
- III. Reducir el impacto ambiental del sector energético
- IV. Operar de forma eficiente, confiable y segura la infraestructura energética
- V. Fortalecer y modernizar la infraestructura del sector energético
- VI. Impulsar el desarrollo de la industria petroquímica nacional.

### **3.8. Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE)**

Es un sistema de servicios estadísticos y geográficos que recopila información del potencial de energías renovables y de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. El INERE es una plataforma de acceso público que muestra información recopilada mediante mapas a nivel nacional. A partir de finales del año 2016 cambiará su nombre a “*Inventario Nacional de Energías Limpias*” e involucrará no solo a las energías renovables, sino a las “Energías Limpias” definidas en la LIE.

La **información sobre energía solar** se limita a cuantificar la irradiación diaria global horizontal, irradiación diaria directa normal e irradiación diaria difusa horizontal, por medio de un mapa de la República Mexicana y una escala de colores, para cada mes del

año o de forma anual. Esto a partir de datos de estaciones en tierra y modelos desarrollados por instituciones nacionales. Un ejemplo de esto se da en las figuras 2 y 3 mostradas a continuación.



Figura 2: Sitios con potencial de generar energía eléctrica a partir de energía solar (Fuente: INERE, 2015)



Figura 3: Irradiación directa normal kWh/m<sup>2</sup>/d (Fuente: INERE, 2015)

Esta herramienta es financiada por el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE), mediante el Proyecto de elaboración de estudios de potencial de recursos renovables:

*Capítulo 2. Legislación aplicable para los SSTC en México*

- Atlas mexicano de recursos de biomasa para la generación de energía.
- Atlas nacional de oleaje 1a parte.
- Atlas nacional de oleaje y eólico.
- Atlas de radiación solar.
- Atlas nacional de recursos geotérmicos.
- Atlas nacional de recurso hidráulico en pequeña escala.

El INERE es el instrumento gubernamental para el desarrollo de la política de aprovechamiento de energías renovables el cual pretende lo siguiente:

1.- Contar con un sistema de servicios estadísticos y geográficos del potencial de las distintas fuentes de energía renovable y el estado de los principales proyectos de generación de electricidad por medio de fuentes de energías renovables. Estos insumos servirán para preparar el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y establecer las metas de participación de estas en la generación de energía en México

2.- Facilitar una fuente de información a inversionistas interesados en el desarrollo de proyectos que utilicen energías renovables, para identificar oportunidades de inversión y adelantar estudios más detallados de factibilidad técnica y económica.

3.- Servir como una fuente de información para definir el aporte de proyectos de autoabastecimiento y cogeneración con energías renovables para satisfacer la demanda proyectada de energía en el plan de expansión de generación.

### **3.9. Subastas de Largo Plazo para Potencia, Energía y CEL**

Es un mecanismo que permite a las entidades responsables de carga celebrar contratos en forma competitiva y en condiciones de prudencia para satisfacer las necesidades de Potencia, Energía Eléctrica Acumulable y Certificados de Energía Limpia (CELs). Las Entidades Responsables de Carga (ERC), podrán participar en las Subastas de Mediano y Largo Plazo mediante las siguientes figuras:

- a) Suministrador de Servicios Básicos.
- b) Suministrador de Servicios Calificados.
- c) Suministrador de Último Recurso.
- d) Usuario Calificado Participante del Mercado.

Las Subastas de Mediano Plazo tienen como propósito adquirir con anticipación la Potencia y energía eléctrica que será consumida por los Usuarios de Suministro Básico, a fin de reducir o eliminar su exposición a los precios de estos productos en el corto plazo. El periodo de vigencia de los contratos derivado de las Subastas de Mediano Plazo será de tres años.

Las Subastas de Largo Plazo tendrán por objeto:

- a) Permitir a los Suministradores de Servicios Básicos celebrar Contratos en forma competitiva y en condiciones de prudencia para satisfacer las necesidades de Potencia, Energía Eléctrica Acumulable y CELs que deban cubrir a través de contratos de largo plazo de acuerdo con los requisitos que para ello establezca la CRE;
- b) Permitir a las demás Entidades Responsables de Carga participar en ellas cuando así lo decidan y una vez que se establezca la Cámara de Compensación, a fin de celebrar Contratos para cantidades de Productos en proporción al portafolio de Potencia, Energía Eléctrica Acumulable y CELs que se llegue a obtener para los Suministradores de Servicios Básicos;
- c) Permitir a quienes celebren esos Contratos, en calidad de Vendedores, contar con una fuente estable de pagos que contribuya a apoyar el financiamiento de las inversiones eficientes requeridas para desarrollar nuevas Centrales Eléctricas o para repotenciar las existentes.

El periodo de vigencia de los contratos derivado de las Subastas de Largo Plazo será:

- a) 15 años para Potencia y Energía Eléctrica Acumulable
- b) 20 años para Certificado de Energías Limpias (CELs).

### **3.10. Otros Documentos:**

- Programa Sectorial de Energía 2013-2018
- Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2017
- Programa de Obra e Inversión en el Sector Eléctrico 2012-2026
- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. 2014-2018

## **4. CONCLUSIONES**

Hoy en día existe el marco legal suficiente en México, para dar cabida a la instalación de Centrales Termosolares. La Ley de Transición Energética (LTE) y la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) son los principales instrumentos jurídicos que soportan un posible desarrollo de este tipo de centrales.

*Capítulo 2. Legislación aplicable para los SSTC en México*

Ya se llevó a cabo la Primer Subasta de Largo Plazo, cuyo fallo se dio el 31 de marzo de 2016, lo que estuvo a cargo del Centro Nacional de Control de Energía, sin embargo al tomar en cuenta las tendencias y acciones del Gobierno actual, no habrá ninguna oportunidad para la generación eléctrica con energía termosolar durante los próximos dos años.

Es posible que con un nuevo gobierno, a partir del año 2018, se pueda impulsar la generación eléctrica termosolar, ya que actualmente, en las bases de licitación para los concursos públicos del mercado eléctrico mayorista de mediano y largo plazo no hay un incentivo explícito para la disponibilidad de energía eléctrica en cualquier momento (“premio a la gestionabilidad”).

## ANEXO

En este ANEXO se exponen tres tablas a manera de resumen sobre el marco legal general relacionado con las energías renovables en México (Tabla 2), las principales políticas públicas llevadas a cabo por el Ejecutivo Federal en funciones (2012-2018) (Tabla 3), y algunos de los Instrumentos económicos para la promoción de energías renovables que están vigentes (Tabla 4).

**Tabla 2: Marco legal general de energías renovables en México  
(Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029, SENER)**

Ordenamiento Legal	Objeto	Publicación
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)	Promueve la introducción de los bioenergéticos a la matriz energética bajo esquemas de desarrollo sustentable en la producción de insumos e incentivando el desarrollo regional y el de las comunidades rurales.	01/02/2008
Ley General de Cambio Climático (LGCC)	Establece objetivos en las políticas públicas para la mitigación y adaptación al cambio climático, así como promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.	06/06/2012
Ley de la Industria Eléctrica (LIE)	Regula la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y las demás actividades de la Industria Eléctrica.	11/08/2014
Ley de Energía Geotérmica (LEG)	Regula el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos.	11/08/2014
Ley de los Órganos Reguladores del Sector Energético: Comisión Reguladora de Energía y Comisión Nacional de Hidrocarburos (CRE y CNH)	La CRE debe regular y promover el desarrollo eficiente de, entre otras cosas, el transporte por ductos, almacenamiento, distribución y expendio al público de bioenergéticos, la generación de electricidad, los servicios públicos de transmisión y distribución eléctrica, la transmisión y distribución eléctrica que no forma parte del servicio público y la comercialización de electricidad.	11/08/2014
Reglamento Interior de la Secretaría de Energía	Establece las obligaciones de los funcionarios públicos adscritos a la Secretaría de Energía.	31/10/2014
Ley de Transición Energética	Regula el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de “Energías Limpias” y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.	24/12/2015

**Tabla 3: políticas públicas para la promoción de las energías renovables en México.  
(Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029, SENER)**

<b>Instrumento</b>	<b>Objeto</b>	<b>Publicación</b>
Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 (ENE)	Propicia la inclusión social a los beneficios del uso de la energía, la sustentabilidad a largo plazo del sector, y la mitigación de los impactos negativos de la producción y el consumo de energéticos, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	25/05/2013
Programa Sectorial de Energía 2013-2018 (PROSENER)	Expresa los objetivos, estrategias y líneas de acción de las dependencias y organismos del sector para la administración 2012-2018. Establece que la meta es llegar al 34.6% de la capacidad instalada de generación eléctrica mediante energías renovables y tecnologías limpias al final del 2018 (línea base 2013 de 28.4%)	13/12/2013
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018 (PEAER)	Es el instrumento de planeación rector de la política pública de México en materia de Energías Renovables. Entre sus metas está incrementar la participación de la capacidad instalada así como el porcentaje de generación con energías renovables y tecnologías limpias.	28/04/2014
Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética (PEFRHME)	Contribuye a la captación, desarrollo y retención del talento necesario para la construcción de una industria energética nacional atractiva, dinámica y competitiva.	30/09/2014
Comisión Intersecretarial de Bioenergéticos (CIB)	Está integrada por SAGARPA, SENER, SEMARNAT, SE Y SHCP. Coordina las políticas de la administración pública federal en materia de bioenergéticos, así como la elaboración de programas de corto, mediano y largo plazo, relacionados con la producción y comercialización de insumos, la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de los bioenergéticos.	30/09/2014
Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios	Integra recomendaciones de política para impulsar la transición energética. Incluye una serie de acciones que el país podría adoptar a mediano y largo plazo para desarrollar un mercado energético eficiente, una economía de bajo carbono y mejores condiciones de bienestar social.	19/12/2014
Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE-2014)	Apoya la conducción de la política nacional para la seguridad energética y el desarrollo económico del país.	Actualizada/ 2014
Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2015-2029 (PRODESEN)	Expresa los elementos relevantes de los programas indicativos para la instalación y retiro de centrales, así como los programas de ampliación y modernización de la red nacional de transmisión y de redes generales de distribución.	30/06/2015

**Tabla 4: Instrumentos económicos para la promoción de energías renovables.  
(Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029, SENER)**

<b>Instrumento</b>	<b>Objeto</b>	<b>Publicación</b>
Deducción inmediata (Ley del Impuesto Sobre la Renta)	Artículo 34, fracción XIII. Pretende estimular la inversión en proyectos de generación de energía proveniente de fuentes renovables, así como asegurar su operación.	1/12/2004 Última modificación 18/11/2015
Fondo Sectorial SENER-CONACYT de Sustentabilidad Energética	Financia investigaciones científicas, desarrollo tecnológico, innovación, registro nacional o internacional de propiedad intelectual, formación de recursos humanos especializados, becas, creación, fortalecimiento de grupos o cuerpos académicos o profesionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, divulgación científica, tecnológica y de la infraestructura que se requiera en fuentes renovables de energía y eficiencia energética.	4/08/2008
Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE)	Es un Fideicomiso público para financiar y potenciar la transición energética, el ahorro de energía, las tecnologías limpias y renovables; puede otorgar garantías de crédito u otro tipo de apoyos financieros para proyectos que cumplan con el objetivo de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.	25/0282009
Metodología de Externalidades	Instrumento para calcular los impactos ambientales de la generación eléctrica mediante distintas tecnologías, con el fin de evaluar costos asociados a la operación y expansión de la Industria Eléctrica.	12/2012
Unidad de Contenido Nacional y Fomento de Cadenas Productivas e Inversión en el Sector Energético	Da seguimiento a las estrategias para el fomento industrial de Cadenas Productivas locales y para el fomento en las industrias de Hidrocarburos y Eléctrica. Propone la metodología para medir el contenido nacional en Asignaciones y Contratos de Exploración y Extracción, así como en la industria eléctrica.	
Fondo de Servicio Universal Eléctrico	Pretende dotar de energía eléctrica a comunidades de zonas rurales y urbanas marginadas, al menor costo para el país promoviendo el uso de energías limpias, incluyendo el suministro de luminarias eficientes y el suministro básico a usuarios finales en condiciones de marginación.	30/09/2014
Certificados de Energías Limpias (CEL)	Contribuye a diversificar la matriz energética a través de la integración de tecnologías limpias. Así como fomenta la competencia en el sector eléctrico y promueve la inversión en nuevos proyectos.	31/10/2014 (lineamientos) 31/03/2015 (convocatoria)

*Capítulo 2. Legislación aplicable para los SSTC en México*

Subasta de Largo Plazo para potencia, energía y CEL.	Hace cumplir los requisitos de energías limpias y potencia; ofrece mejores precios a los usuarios finales; y fomenta las inversiones privadas en nuevos proyectos.	19/11/2015 (convocatoria) 31/03/2016 (fallo)
--	--	---

## CAPÍTULO 3

# LEGISLACIÓN APLICABLE PARA LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN EN COLOMBIA

### CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. LEGISLACIÓN SOBRE EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL APLICABLE A LOS SISTEMAS SOLARES DE GENERACIÓN TÉRMICA.....	6
3. LEGISLACIÓN APLICABLE A LA COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN. ....	6
4. LEGISLACIÓN SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS APLICABLE A LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN. ....	7
5. APLICACIÓN DE LA LEGISLACIÓN EN CASO PRÁCTICO .....	8
6. REFERENCIAS.....	12

## 1. INTRODUCCIÓN

A partir del fenómeno del calentamiento global y del Cambio Climático, el impulso a las Fuentes No Convencionales de Energía (**FNCE**) ha sido promovido principalmente por los países desarrollados, quienes tienen un aporte importante en la producción de gases de efecto invernadero (**GEI**). Es así como la formulación de políticas debe estar claramente ligada a la identificación de objetivos precisos en cuanto a los resultados finales que se esperan lograr y la justificación de los mismos o factores determinantes. Desde 1984 Colombia ha venido dándole un tratamiento institucional a las FNCE, primero a través de la División de FNCE del Ministerio de Minas y Energía (**MME**) encargada de evaluar y promoverlas, especialmente con énfasis en las Zonas No Interconectadas (**ZNI**).

Posteriormente, luego de varias reformas, todas las funciones en el campo de la energía fueron asignadas a la Unidad de Planeación Minero Energética (**UPME**), concentrando así la planeación energética de todos los recursos. En este sentido, también se ha tenido una evolución de las leyes que rigen la conducción de las FNCE. Posteriormente, en la Ley 697 de 2001 mediante la cual se promueve la utilización de energías alternativas y se da al Uso Racional y Eficiente de Energía (**URE**) el carácter de interés general, precisa el alcance de las energías renovables y alternativas, y a nivel institucional, asigna en cabeza del MME la responsabilidad de la promoción y adopción de programas. Con esta Ley se declara como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional el Uso Racional de la Energía, incluyendo la promoción del uso de energías no convencionales, avanzando en la definición de un marco conceptual para estas energías, en la reasignación y precisión de funciones y en la exigencia de la conformación de un plan o programa para la promoción del URE por parte del MME (conocido como PROURE). Las energías consideradas son la solar, eólica, geotérmica y biomasa.

Por otro lado, más recientemente en Colombia también se aprobó la Ley 1715 de 2014. Esta tiene como finalidad el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética. Asimismo, establece líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) mediante la Ley 1665 de 2013. De esta manera es esta Ley la que promoverá el desarrollo de los sistemas de generación a través de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (**FN CER**) en Colombia. En la Figura 1 se muestran las Instituciones que promoverán la aplicación de dicha Ley. Además en la Tabla 1 se muestra un escenario global de los instrumentos propuestos en la Ley 1715 [1].



**Figura 1. Instituciones que apoyan el fomento de las FNCER a través de la ley 1715/2014.**

**Tabla 1. Instrumentos y elementos dispuestos por la Ley 1715 de 2014 [1].**

Tipo de instrumento o elemento	Descripción	Entidad responsable	Consideración
Económicos: Orientados a mejorar el resultado económico del proyecto (al inversionista)			
Incentivos fiscales	Ver Sección 4	MME, MADS, MHCP, MCIT, DIAN, UPME	Requiere reglamentación a ser establecida por el MME, la UPME, el MADS y la DIAN, con el concurso del MHCP (Ministerio de Hacienda y Crédito Público) y el MCIT (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo)

**Tabla 1. Instrumentos y elementos dispuestos por la Ley 1715 de 2014 [1].**

Tipo de instrumento o elemento	Descripción	Entidad responsable	Consideración
Disposiciones de Mercado	<p>Habilitación a la entrega de excedentes por parte de autogeneradores</p> <p>Esquema de medición bidireccional y créditos de energía para excedentes provenientes de autogeneración a pequeña escala con FNCER</p> <p>Valoración de los beneficios ocasionados por la generación distribuida, a ser incorporados en la respectiva remuneración</p>	CREG, UPME	<p>Requiere de un desarrollo regulatorio integral, respaldado en estudios técnicos enfocados en los sistemas de distribución</p> <p>La UPME deberá definir el umbral de la autogeneración a pequeña escala</p>
Mecanismos de financiamiento	<p>Creación del FENOGÉ (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía)</p> <p>Prolongación del FAZNI hasta 2021</p>	MME	El FENOGÉ requiere estructuración y reglamentación
Normativos: Orientados a viabilizar y facilitar la construcción y operación de proyectos			
Disposiciones técnicas	<p>Análisis de condiciones propias asociadas a la producción de energía a partir de las FNCER solar, eólica, geotérmica y biomasa para efectos de emitir reglamentaciones técnicas</p> <p>Procedimientos y requerimientos técnicos para la conexión, operación respaldo y comercialización de energía proveniente de autogeneradores y generadores distribuidos</p> <p>Obligatoriedad para la utilización de subproductos y residuos de las masas forestales en zonas de silvicultura aprovechamiento con fines energéticos de biomasa agrícola inutilizada, y fomento de repoblaciones forestales con fines exclusivamente energéticos</p> <p>Determinación de tipologías de residuos de interés energético y reglamentación para el uso, valoración y certificación de energéticos derivados de residuos biomásicos</p>	MME, CREG, MADS y CARs	<p>Los análisis, procedimientos y requerimientos técnicos requieren ser elaborados y determinados por el MME y la CREG</p> <p>Los mecanismos que permitan materializar las disposiciones y directrices dictadas por la Ley respecto al aprovechamiento energético de la biomasa deben ser desarrolladas especialmente por el MADS y las CAR con el concurso de otras entidades como el MME y el MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural)</p>
Disposiciones ambientales	<p>Definición de parámetros y criterios ambientales a ser cumplidos por proyectos con FNCER, de acuerdo con cada fuente o tecnología</p> <p>Definición de ciclo de evaluación rápido para proyectos con FNCER</p>	MADS y ANLA	Requiere desarrollos normativos que en parte han sido abordados con el Decreto 2041 de 2014 (del MADS)

**Tabla 1. Instrumentos y elementos dispuestos por la Ley 1715 de 2014 [1].**

<b>Tipo de instrumento o elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Entidad responsable</b>	<b>Consideración</b>
Otros			
Fomento desde la demanda	<p>Adopción o ejercicio de acciones ejemplarizantes de parte del Gobierno Nacional y el resto de administraciones públicas para el desarrollo de las FNCE.</p> <p>Fomento del aprovechamiento solar en urbanizaciones, edificios oficiales, industria y comercio.</p>	MME, MADS y MVCT	Acciones e instrumentos a ser desarrollados especialmente por el MME, el MADS y el MVCT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio) y apoyadas por el resto de entidades y administraciones públicas
Investigación científica y exploración	<p>Subvenciones y otras ayudas para programas de investigación y desarrollo, coordinados a través del Sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación -SNCTI- de Colciencias, y el establecimiento de cooperación en esta materia, de manera inscrita en el marco de planes y programas nacionales en torno al desarrollo de las FNCE.</p> <p>Disposición para apoyar la exploración e investigación de potenciales energéticos geotérmicos y de los mares</p>	COLCIENCIAS	Acciones a ser coordinadas desde COLCIENCIAS con la participación del MME, el MADS, el MADR, el DNP y las diferentes entidades adscritas o vinculadas con estas administraciones
Divulgación	Programas de divulgación masiva y focalizada para informar al público sobre requisitos, procedimientos, beneficios y potenciales para desarrollar proyectos a pequeña escala con FNCER	UPME	En ejecución (talleres y SGI & C – FNCER). Actividades que deben ser continuadas tras la reglamentación de la Ley
Elementos ZNI	<p>Conformación de áreas exclusivas y otros esquemas empresariales</p> <p>Incentivos para la sustitución de diésel</p> <p>Administración y utilización de recursos del FAZNI y FENOGE con criterios de costo-efectividad, productividad, sostenibilidad, etc.</p>	MME y CREG	<p>Esquemas y mecanismos a ser estructurados y reglamentados por el MME y la CREG.</p> <p>Los criterios para el manejo de los fondos del FENOGE deberán ser establecidos por el MME</p>

## **2. LEGISLACIÓN SOBRE EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL APLICABLE A LOS SISTEMAS SOLARES DE GENERACIÓN TÉRMICA**

Como se mencionó anteriormente, la Ley 1715 es la base para el desarrollo de los sistemas de generación a través de las FNCER, no obstante, es una Ley que se encuentra vigente desde hace muy poco tiempo. Esto significa que por ahora los reglamentos para sistemas solares térmicos de generación no se diferencian de aquellos aplicables a otras tecnologías de generación a partir de FNCER. De esta manera, uno de los decretos que contempla las consideraciones del impacto medioambiental de los proyectos a partir de las FNCER es el 2041 de 2015.

Para los proyectos de gran escala, dicho decreto muestra las bases para la solicitud de la licencia ambiental que es obligatoria para la ejecución de un proyecto que pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables, o al medio ambiente, o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje. Dicha licencia ambiental llevará implícitos todos los permisos, autorizaciones y/o concesiones para el uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales renovables que sean necesarios por el tiempo de vida útil del proyecto, obra o actividad. Teniendo así en cuenta que el uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales renovables deberán ser claramente identificados en el respectivo estudio de impacto ambiental.

## **3. LEGISLACIÓN APLICABLE A LA COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.**

La ley 1715 del 2014 permite a personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica entregar sus excedentes de generación, siempre y cuando se cumplan los términos establecidos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). La regulación de actividad de autogeneración se detalla en el documento CREG-097 del 2014, resaltando el cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. Permisos municipales.
2. Para realizar las conexiones al sistema interconectado, se deberán cumplir la normatividad vigente que aplica para los generadores, (Resolución CREG 106 de 2006 y 025 de 1995).
3. El contrato de conexión entre el transmisor o distribuidor y el autogenerador se acordará libremente entre las partes.
4. Los autogeneradores estarán obligados a suscribir un contrato de respaldo con el operador de red o transportador al cual se conecten.
5. Los autogeneradores que deseen entregar sus excedentes a terceros deberán constituirse en usuarios no regulados y cumplir las normativas referentes a los

sistemas de medida y fronteras comerciales (Resoluciones XREG 038 de 20014 y 157 de 2011).

6. Se aplicará la normativa de pruebas para entrar en operación comercial según lo establecido en la resolución CREG 070 de 1998.
7. El autogenerador que pueda garantizar energía firme podrá acceder al pago del cargo por confiabilidad. Para ello debe cumplir la normativa CREG 071 de 2006.

#### **4. LEGISLACIÓN SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS APLICABLE A LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN.**

Para este apartado, la Ley 1715 establece varios recursos para fomentar la inversión en este tipo de energías. Estos recursos son:

1. Derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada. El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión. Para la obtención de este beneficio tributario, es necesario obtener la certificación de beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y ser debidamente certificada como tal por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
2. Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA. El Ministerio de Medio Ambiente certificará los equipos y servicios excluidos del gravamen, con base en una lista expedida por la UPME.
3. Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes. Este beneficio arancelario será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos. Dicha exención debe ser solicitada a la DIAN en un mínimo de 15 días hábiles antes de la importación de la maquinaria, equipos, materiales e insumos necesarios y destinados exclusivamente a desarrollar los proyectos de energías renovables, de conformidad con la documentación del proyecto avalada en la certificación emitida por el Ministerio de Minas y Energía o la entidad que este faculte para este fin.
4. Depreciación acelerada a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la preinversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin. La tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual. La

tasa podrá ser variada anualmente por el titular del proyecto, previa comunicación a la DIAN, sin exceder el límite señalado, excepto en los casos en que la ley autorice porcentajes globales mayores.

## 5. APLICACIÓN DE LA LEGISLACIÓN EN CASO PRÁCTICO

Con el objetivo de mostrar el posible alcance de la legislación aprobada en Colombia para fomentar la generación a partir de FNCER, a continuación se presenta un análisis donde se comparan los costos nivelados de energía (LCOE, en inglés) para una misma planta solar. El LCOE es un indicador generalmente usado para comparar de manera justa dos métodos de generación de electricidad diferentes. Este indicador muestra una evaluación global del costo total que conlleva construir y operar una planta de generación durante todo su periodo de vida útil. También se considera el LCOE como el valor mínimo al cual la electricidad debe ser vendida para cubrir los gastos del proyecto durante dicha vida útil. En este caso en particular el valor de LCOE será determinado de la siguiente manera:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t + T_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

$I_t$ : Gastos de inversión en el año t.

$M_t$ : Gastos de operación y mantenimiento en el año t.

$F_t$ : Gastos en combustibles para el año t.

$E_t$ : Electricidad generada en el año t.

$T_t$ : Impuestos a pagar en el año t.

$r$ : Tasa de descuento.

$n$ : Vida útil del sistema.

El sistema a estudiar es una planta solar térmica de concentradores cilindroparabólicos (PTC, en inglés) ya que es la tecnología que actualmente cuenta con la mayor capacidad instalada a nivel mundial (Alrededor de 85%). Específicamente el caso estudio posee las mismas características de la planta Andasol-1 de 50 MW y con un almacenamiento térmico de 1 GWh de capacidad, ubicada en España.

Como se mencionó anteriormente, la Ley 1715 de 2014 contempla varios beneficios para los nuevos proyectos de generación eléctrica a partir de FNCER. El primer impacto de esta se puede observar en la diferencia que existe en cuanto a la inversión inicial antes y después de dicha Ley. En la Tabla 2 se muestran los costos más representativos para llevar a cabo el proyecto propuesto. Los valores de referencia fueron obtenidos del informe IRENA de 2012 y 2014 [2], [3]. La amplia variación de dichos valores se debe a los diferentes costos de las estructuras en diferentes países. Se espera

que los costos en un futuro tiendan a unificarse en cifras globales una vez que se hayan establecido las cadenas de producción [4].

**Tabla 2. Desglose de costos en equipos para un campo solar PTC de 50 MW con almacenamiento térmico**

	% Costo neto	IVA	% Imp. Importación	Costos (USD/kW)			
				Sin beneficios tributarios		Con beneficios tributarios	
				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>Campo solar y ubicación</b>							
Campo solar	3.1	Aplica	N/A	251.2	472.9	211.1	397.4
Preparación de lugar e infraestructura	5.8	Aplica	N/A	471.3	887.1	396.0	745.5
Estructuras de acero	2.5	Aplica	N/A	202.3	380.8	170.0	320.0
Tuberías	1.8	Aplica	N/A	142.3	267.8	119.6	225.1
Instalaciones eléctricas y otros equipos	4.0	Aplica	N/A	320.1	602.6	269.0	506.4
<b>Equipos: Campo solar, sistema del fluido de calentamiento</b>							
Espejos	6.3	Aplica	15.0	578.3	1088.5	431.5	812.3
Receptores	7.1	Aplica	5.0	576.1	1129.4	483.8	910.8
Estructuras de acero	10.7	Aplica	10.0	868.1	1769.1	728.6	1371.4
Pilotes	1.1	N/A	N/A	72.9	137.1	72.9	137.1
Bases	2.1	N/A	N/A	145.7	274.3	145.7	274.3
Seguimiento Solar (Motores eléctricos e hidráulicos)	0.4	Aplica	10.0	35.6	72.6	29.9	56.3
Articulaciones giratorias	0.7	Aplica	15.0	57.9	122.5	48.6	91.4
Sistema del fluido de calentamiento (Tubería, aislamiento, intercambiadores de calor, bombas)	5.4	Aplica	10.0	434.0	884.6	364.3	685.7
Fluido de calentamiento	2.1	Aplica	10.0	173.6	353.8	145.7	274.3
Dispositivos electrónicos, controladores, equipos eléctricos y solares	2.5	Aplica	10.0	202.6	412.8	170.0	320.0
<b>Sistema de almacenamiento térmico</b>							
Sales	5.1	Aplica	10.0	414.0	843.7	347.5	654.1
Tanques de almacenamiento	1.8	Aplica	N/A	146.7	276.2	123.3	232.1
Aislantes	0.2	Aplica	15.0	15.6	33.0	13.1	24.6
Bases	0.6	No Aplica	N/A	43.0	80.9	43.0	80.9

**Tabla 2. Desglose de costos en equipos para un campo solar PTC de 50 MW con almacenamiento térmico**

	% Costo neto	IVA	% Imp. Importación	Costos (USD/kW)			
				Sin beneficios tributarios		Con beneficios tributarios	
				Mín.	Máx	Mín.	Máx
Intercambiadores de calor	1.4	Aplica	15.0	113.6	240.3	95.3	179.3
Bombas	0.4	Aplica	15.0	35.6	75.4	29.9	56.3
Balance del sistema	1.0	Aplica	15.0	78.0	164.9	65.4	123.1
<b>Componentes convencionales de la central termosolar</b>							
Bloque de potencia	5.7	Aplica	5.0	462.7	907.0	388.6	731.4
Balance de la planta	5.7	Aplica	15.0	461.0	975.4	386.7	727.9
Conexión a la red	2.9	Aplica	15.0	233.9	494.8	196.2	369.2
Otros							
Desarrollo del proyecto	2.9	N/A	N/A	196.2	369.2	196.2	369.2
Gestión del proyecto	7.7	N/A	N/A	524.9	988.1	524.9	988.1
Financiación	6.0	N/A	N/A	407.3	766.6	407.3	766.6
Otros costos	2.9	N/A	N/A	196.2	369.2	196.2	369.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>			<b>7860.5</b>	<b>15440.7</b>	<b>6800.0</b>	<b>12800.0</b>

Por otro lado, la Ley también contempla beneficios tributarios asociados a los impuestos de la renta obtenida a través de la generación eléctrica, y permitiendo altas tasas de depreciación acelerada. En Colombia actualmente se encuentran vigentes diferentes tipos de impuestos, los más importantes a nivel nacional son: Impuesto sobre la renta general (25%), Impuesto sobre la renta para la equidad CREE (9%), Impuesto a la riqueza (0.2-1.5%), Impuesto de industria y comercio (0.2-1.4%), Impuesto predial (0.3-3.3%), y el Impuesto al Valor Agregado (IVA) (0%, 5%, y el más común 16%). De esta forma, en la Tabla 3 y Tabla 4 se muestran los valores de LCOE para diferentes escenarios en proyectos futuros. Aunque es necesario tener en cuenta que la aplicación exacta de los beneficios tributarios dependerá de la normativa que aún se debe realizar. En cuanto a los precios de venta, estos representan el intervalo al cual venden actualmente la energía las empresas generadoras, no obstante dicho valor no es estático.

Aunque el precio de venta no influye directamente sobre el valor del LCOE, el impuesto sobre la renta sí lo hace respecto a dicho valor. Por lo tanto, en general se puede observar que un incremento en el precio de venta provoca un ligero aumento del LCOE, debido al aumento de la renta obtenida y por ende el aumento del impuesto a pagar. En cuanto a la tasa de depreciación, se puede ver que su efecto es bastante,

sobre todo para valores bajos en el precio de venta. Finalmente, el efecto de la tasa de descuento es considerable en ambos casos estudiados.

**Tabla 3. Precios nivelados de energía sin tener en cuenta beneficios tributarios**

Tasa de descuento	Tasa de depreciación	Precio de venta (USD/kWh)	LCOE (Mínimo)	LCOE (Máximo)
3	5	0.0339	0.167189952	0.291939018
3	5	0.1387	0.174219946	0.292934748
3	15	0.0339	0.167189952	0.291939018
3	15	0.1387	0.176359822	0.297603646
10	5	0.0339	0.272406278	0.500352478
10	5	0.1387	0.276808413	0.500763169
10	15	0.0339	0.272406278	0.500352478
10	15	0.1387	0.277579643	0.503101727

**Tabla 4. Precios nivelados de energía teniendo en cuenta los beneficios tributarios contemplados en la Ley 1715**

Tasa de descuento	Tasa de depreciación	Precio de venta (USD/kWh)	LCOE (Mínimo)	LCOE (Máximo)
3	5	0.0339	0.149737134	0.248480806
3	5	0.1387	0.158347549	0.250616648
3	15	0.0339	0.149737134	0.248480806
3	15	0.1387	0.159733077	0.255057902
10	5	0.0339	0.240515832	0.420943995
10	5	0.1387	0.246216907	0.421920815
10	15	0.0339	0.240515832	0.420943995
10	15	0.1387	0.246348603	0.42426778

## 6. CONCLUSIÓN

De manera general se tiene que Colombia está dando los primeros pasos para fomentar el uso de fuentes no convencionales de energía renovable, para ello se han ido aprobando diferentes Leyes que permitan el desarrollo de nuevas empresas en este sector. No obstante el camino por recorrer para llegar hasta la implementación de sistemas de gran escala es bastante largo y conlleva mucho esfuerzo. Un esfuerzo que

es difícil teniendo en cuenta la competencia económica con fuentes de energía como la hidráulica.

## 7. REFERENCIAS.

- [1] UPME, “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, Componente I,” Bogotá, Colombia, 2015.
- [2] IRENA, “RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2014,” 2015.
- [3] IRENA, “RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES,” 2012.
- [4] J. Hinkley, B. Curtin, J. Hayward, A. Wonhas, R. Boyd, C. Grima, A. Tadros, R. Hall, K. Naicker, and A. Mikhail, “Concentrating solar power--drivers and opportunities for cost-competitive electricity,” *Clayt. South CSIRO*, 2011.

## CAPÍTULO 4

# LEGISLACIÓN APLICABLE PARA LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

### CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. LEGISLACIÓN SOBRE EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN .....	2
3. LEGISLACIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN .....	5
4. LEGISLACIÓN SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN .....	7
5. OTRA LEGISLACIÓN RELEVANTE .....	7
5.1. Incentivos Financieros y Tributarios.....	10
6. REFERENCIAS .....	12

## 1. INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, la legislación en materia de energías renovables data desde el año 1998, cuando se emite la primera ley al respecto, la N° 25019, donde se declara de interés nacional la generación de energía eléctrica de origen eólico y solar en todo el territorio nacional. A través de los sucesivos años, y hasta la fecha, se fueron incorporando distintas leyes, decretos reglamentarios y resoluciones, que son objeto del presente estudio y que desarrollaremos a continuación. En función del carácter republicano y federal de la Constitución nacional, existen leyes que se aplican a nivel Nacional, otras provinciales y las que son además de aplicación regional o Municipal. Las últimas dos se adaptan a las definiciones de las leyes nacionales aplicables a todo el territorio nacional.

## 2. LEGISLACIÓN SOBRE EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN

El marco legal existente en la República Argentina que afecta a los sistemas de energías renovables en general, y a los sistemas solares en particular, está compuesto por las leyes que se indican a continuación.

### LEY 25019/1998

En su Art. 1, esta ley declara de interés nacional la generación de energía eléctrica de origen eólico y solar en todo el territorio nacional, la cual puede ser desarrollada tanto por personas físicas como jurídicas, y no necesita la autorización previa del Poder ejecutivo para su ejercicio.

En su Art. 5, crea la figura de un FONDO FIDUCIARIO DE ENERGIAS RENOVABLES, que será administrado por el Consejo Federal de la Energía Eléctrica. Para su funcionamiento, la Secretaría de Energía de la Nación, incrementará el gravamen dentro de los márgenes fijados por la Ley 24065, hasta 0.3 \$/MWh, los cuales destinará a:

- I. remunerar con hasta 0.015 \$/KWh efectivamente generados por sistemas eólicos instalados y a instalarse, que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos
- II. remunerar con hasta 0.90 \$/KWh, puesto a disposición del usuario con generadores fotovoltaicos solares instalados y a instalarse, que estén destinados a la prestación de servicios públicos
- III. remunerar con hasta 0.015 \$/KWh, efectivamente generados por sistemas de energía geotérmica, mareomotriz, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, a instalarse y que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos.

- IV. Remunerar con hasta 0.015 \$/KWh, efectivamente generado, por sistemas hidroeléctricos a instalarse de hasta 30 MW de potencia que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos.

La remuneración indicada es un valor adicional al precio de generación, que el gobierno nacional pagará, para la promoción de este tipo de energías. Los equipos a instalarse gozarán de esta remuneración por un período de 15 años contados a partir de la solicitud de inicio del período de beneficio, en el caso de los equipos generadores eólicos y generadores fotovoltaicos solares, gozaran de esta remuneración por un período de 15 años contados a partir de la efectiva fecha de instalación.

#### **DECRETO 1220/1998**

Observación parcial de la Ley 25019, (Art. 3 y 5) / promulgación.

#### **DECRETO 1597/1999**

Apruébese la Reglamentación de la Ley 25019.

#### **LEY 26190/2006**

Régimen de Fondo Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Define: Objeto, Alcance, Ámbito de aplicación, Autoridad de aplicación, Políticas, Régimen de inversiones, Beneficiarios, Beneficios, Sanciones y Fondo Fiduciario de Energías Renovables.

#### **DECRETO 562/2009, DEROGADO POR EL DECRETO 531/2016**

Reglamentase la Ley N° 26190 relacionada al Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.

#### **LEY N° 26769**

Apruébese el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías renovables (IRENA)

#### **DECRETO 2043/2012**

Promulgase la Ley N° 26.769

## **LEY N° 27191/2015**

Modificación de la Ley 26190, Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.

**ARTÍCULO 1°** —Sustitúyese el artículo 2° de la ley 26.190, “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, por el siguiente nuevo Artículo 2°:

Artículo 2°: *Alcance* - Se establece como objetivo del presente régimen lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el ocho por ciento (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2017.

**ARTÍCULO 2°** — Sustitúyense los incisos a) y b) del artículo 4° de la ley 26.190, “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, por los siguientes incisos nuevos:

- a) *Fuentes Renovables de Energía*: Son las fuentes renovables de energía no fósiles idóneas para ser aprovechadas de forma sustentable en el corto, mediano y largo plazo: energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, de las corrientes marinas, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogás y biocombustibles, con excepción de los usos previstos en la ley 26.093.
- b) El límite de potencia establecido por la presente ley para los proyectos de centrales hidroeléctricas, será de hasta cincuenta megavatios (50 MW).

**ARTÍCULO 3°** — Sustitúyese el artículo 7° de la ley 26.190, “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, por el siguiente nuevo Artículo 7:

Artículo 7°: *Régimen de Inversiones* - Institúyese un Régimen de Inversiones para la construcción de obras nuevas destinadas a la producción de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables de energía, que regirá con los alcances y limitaciones establecidos en la presente ley.

## **DECRETO 531/2016**

Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energías destinadas a la producción de energía eléctrica. Reglamentación de la Ley 27191/2015.

### 3. LEGISLACIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN

#### RESOLUCIÓN 136/2000

Fijase el monto de gravamen establecido en el Art. 70 de la Ley 24065/92 para afrontar el pago de la remuneración del Art. 5 de la Ley 25019, en función de las previsiones de variación de la generación de energía eléctrica de origen eólico con relación al año inmediato anterior. Proporción de la recaudación global del Fondo de la Energía Eléctrica que ha de ser destinada al pago de dicha remuneración

**(ARTICULO 70.-** Sustitúyanse los incisos e) y g) del artículo 30 y del artículo 31 de la ley 15.336, por los siguientes:

- e) El Fondo Nacional de la Energía Eléctrica se constituirá por un recargo de treinta australes por kilovatio hora (A 30 Kw/h) sobre las tarifas que paguen los compradores del mercado mayorista, es decir las empresas distribuidoras y los grandes usuarios, como asimismo por los reembolsos más sus intereses de los préstamos que se hagan con los recursos del Fondo. La Secretaría de Energía tendrá la facultad de modificar el monto del referido recargo, hasta un veinte por ciento (20 %) en más o en menos, de acuerdo a las variaciones económicas que se operen en la industria con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia de esta ley.

A los fines de la determinación del recargo que constituye el Fondo Nacional de la Energía Eléctrica (FNEE), se afectará el valor antes mencionado por un coeficiente de adecuación trimestral (CAT) referido a los períodos estacionales. Dicho coeficiente de adecuación trimestral (CAT) resultará de considerar la facturación neta que efectúan los generadores por los contratos a término y spot en el Mercado Eléctrico Mayorista correspondientes al trimestre inmediato anterior al de liquidación, dividido el total de la energía (en MWh) involucrada en esa facturación, y su comparación con el mismo cociente correspondiente al trimestre mayo/julio 2003 que se tomará como base. *(Párrafo incorporado por art. 1° de la [Ley N° 25.957](#) B.O. 2/12/2004. El presente mecanismo de cálculo entrará en vigencia, a partir del primer trimestre posterior a la vigencia de la ley de referencia).*

- g) El Fondo Nacional de la Energía Eléctrica será administrado por el Consejo Federal de la Energía Eléctrica (CFEE) y se destinará a:

- El sesenta por ciento (60 %) para crear el Fondo Subsidiario para Compensaciones Regionales de Tarifas a Usuarios Finales, que asignará anualmente el Consejo Federal de la Energía Eléctrica (CFEE), distribuyéndolo entre las jurisdicciones provinciales que hayan adherido a los principios tarifarios contenidos en esta ley.

- El cuarenta por ciento (40 %) restante para alimentar el Fondo para el Desarrollo Eléctrico del Interior. El CFEE distribuirá los fondos en función a los índices repartidores vigentes o a los que dicho Consejo determine en el futuro.

#### **RESOLUCIÓN 905/2005**

Establéese el valor del Coeficiente de Actualización Trimestral (CAT), instaurado por el Art. 1° de la Ley N° 25.957, a los efectos del cálculo para la determinación del valor total del Fondo Nacional de la Energía Eléctrica.

#### **RESOLUCIÓN 1835/2005**

Gravamen establecido por el Art. 30 de la Ley N° 15336 y modificatorias. Créase el Padrón de Agentes de Percepción responsables del pago de dicho gravamen, al cual todos los Agentes Generadores y la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A deberán proceder a inscribirse en un determinado plazo.

#### **RESOLUCIÓN 712/2009 (SUSPENDIDA A PARTIR DE FEBRERO DE 2016)**

Habilitase la realización de contratos de abastecimiento entre el Mercado Eléctrica Mayorista y las ofertas de disponibilidad de generación y energía asociada.

#### **RESOLUCIÓN 108/2011 (SUSPENDIDA A PARTIR DE FEBRERO DE 2016)**

Habilitase la realización de Contratos de Abastecimiento entre el Mercado Eléctrico Mayorista y las ofertas de disponibilidad de generación y energía asociada.

#### **RESOLUCIÓN CONJUNTA 572/2011 (DEROGADA POR EL DECRETO 531/2016)**

Apruébese el Procedimiento para la presentación y selección de proyectos. Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes renovables de energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica.

#### **RESOLUCIÓN GENERAL 3711/2015**

Impuesto al Valor Agregado. Determinación del gravamen según la activiada declarada. Requisitos, plazos y condiciones. Resolución General N° 715 y sus complementarias. Norma complementaria.

### **RESOLUCIÓN GENERAL 3816/2015**

Procedimiento. Sistema informático de consulta de retenciones y/o percepciones “MIS RETENCIONES”, Resolución General N° 2170. Norma modificatoria y complementaria

## **4. LEGISLACIÓN SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN**

### **RESOLUCIÓN 333/2001**

Modifícase el gravamen establecido en la Ley N 24.065 con destino a remunerar en un centavo por kilovatio hora la energía efectivamente generada mediante sistemas eólicos instalados que vuelquen su energía en el mercado Eléctrico Mayorista y/o estén destinados a la prestación de servicios públicos.

### **RESOLUCIÓN 113/2001**

Requisitos para la presentación de solicitudes de acogimiento al beneficio de diferimiento del impuesto al valor agregado y de inclusión en el régimen de estabilidad fiscal para proyectos de instalación y/o ampliación de centrales de generación de energía eléctrica de fuentes eólicas o solar.

### **RESOLUCIÓN 1061/2005**

Establécese el valor del Coeficiente de Actualización Trimestral (CAT), instaurado por el Art. 1° de la Ley N° 25.957, a los efectos del cálculo para la determinación del valor total del Fondo Nacional de la Energía Eléctrica.

## **5. OTRA LEGISLACIÓN RELEVANTE**

### **Marco Provincial y Municipal**

Varias provincias han sancionado su propio marco regulatorio relativo a la promoción de las EERR. Algunos de los cuales implican beneficios fiscales, impositivos y remuneraciones adicionales. Estas iniciativas, están en su mayor parte motivadas por su adhesión a la Ley N° 26.190. A continuación se describen sucintamente las normas aplicables.

• **Provincia de Mendoza.** Ley Provincial N° 7.822 de 2008. Se impone una meta respecto del consumo eléctrico, en 15 años las ER deben participar en un 15%. Se exime de impuestos provinciales.

• **Provincia de Jujuy:** ley provincial N° 5904. Sobre la promoción y el desarrollo de la energía solar

## CAPITULO I

Declarase de interés estratégico y servicio público provincial: la generación de energía eléctrica y energía térmica a partir del aprovechamiento de la energía solar con destino a:

- La prestación del servicio público
- La investigación para el desarrollo científico-tecnológico
- El diseño, la fabricación, implementación, mantenimiento y comercialización de equipos y sistemas con esa finalidad

La generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad generada a partir del aprovechamiento de la energía solar constituye servicio público estratégico de la provincia de Jujuy.

## CAPITULO III – PROGRAMA “JUJUY PROVINCIA SOLAR”

Artículo 19 – JUJUY PROVINCIA SOLAR: Créase el programa JUJUY PROVINCIA SOLAR, el que tiene como fin posicionar a la provincia de Jujuy como protagonista en el aprovechamiento de la energía solar con el objeto de lograr la sostenibilidad energética en la provincia de Jujuy y aportar a la lucha contra la pobreza y el cambio climático.

Artículo 20 – OBJETIVOS DEL PROGRAMA: el Programa JUJUY PROVINCIA SOLAR tiene como objetivo Incentivar la elaboración e implementación de proyectos con el fin de:

- Mejorar la calidad de vida de la población más vulnerable mediante la utilización de equipamiento solar y la inclusión de criterios de eficiencia energética y bioclimáticos en los hogares.
- Reemplazar en un 70% la utilización de derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica y térmica, en el plazo que determine la reglamentación de la presente ley.
- Reducir la utilización de gas natural a nivel domiciliario e industrial con la inclusión de artefactos solares térmicos.
- Reducir la huella de carbono de la provincia a fin de gozar de un ambiente más sano, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero.
- Creación de un registro y base de datos de proyectos y proveedores de energía solar. Registro de plantas habilitadas para la producción de energía solar.

- Registro y base de datos sobre líneas de financiamientos nacionales e internacionales.
- Estudios académicos de las potencialidades de la energía solar para la provincia de Jujuy, que sirva de base y referencia para nuevos proyectos.
- **Provincia del Neuquén.** Ley Provincial N° 2.596. Se adhiere a la Ley Nacional y establece una remuneración de 3 ARS/MWh por el plazo de 15 años.
- **Provincia del Chubut.** Ley Provincial N° 4.389 de 2008. Exime del gravamen impositivo provincial por un plazo de 10 años. Remunera con 5 ARS/MWh, sistemas eólicos para generadores instalados o a instalarse con un cronograma definido para componentes fabricados o ensamblados en la Provincia. Otorga asimismo estabilidad fiscal por el término de 10 años
- **Provincia de Santa Fe.** Ley Provincial N° 12.503 de 2005. Diseña un Plan Energético-Ambiental.
- **Provincia de Buenos Aires.** Ley Provincial 12.603. Se exime del pago del impuesto inmobiliario a proyectos renovables por un plazo de 10 años. Otorga 10 ARS/MWh, provenientes del Fondo Subsidiario para Compensación Regionales de Tarifas de Usuarios Finales y promueve a través del Banco Provincial líneas de créditos para financiación a largo plazo y bajas tasas de interés.
- **Provincia de Misiones.** Ley Provincial N° 4.439 de 2008. Instituye el Régimen de Promoción de Aprovechamiento, Producción, Investigación, Procesamiento y Uso Sustentable de energías renovables. Además, crea un Fondo Fiduciario para la promoción de ER, Biocombustibles e Hidrógeno.
- **Provincia de San Luís.** Se presentó a la legislatura provincial un Proyecto de Ley mediante el cual crea el Consejo Interministerial de las ER y se exime de impuestos provinciales a la actividad por un plazo de 15 años.
- **Provincia de Santa Cruz.** Ley Provincial N° 2.279. Exime del pago del impuesto inmobiliario y todo gravamen impositivo provincial por el término de 10 años a la fabricación de equipamiento mecánico, eléctrico, electrónico, electromecánico o metalúrgico con destino a la fabricación de equipos para el uso de energías renovable. Además, tienen derecho a percibir un subsidio variable de entre 10 y 30 ARS/MWh y otorga estabilidad fiscal por un plazo de 10 años.

- **Provincia de Córdoba.** Ley Provincial 8.810. Declara de interés la generación con EERR y fomenta su desarrollo. Las inversiones en generación de ER, tendrá exención impositiva (alícuota cero) en el Impuesto a los Ingresos Brutos por el término de diez años y estabilidad fiscal por igual término. Se propiciará la incorporación de los costos de las externalidades al precio de la energía.

- **Provincia de Salta:** Ley provincial 7823, aprueba el régimen de fomento para las energías renovables, declara de interés provincial la investigación, desarrollo, generación y el uso sustentable de energías eléctricas no convencionales, a partir de la utilización de las fuentes renovables en todo el territorio de la provincia de Salta.

En cuanto a beneficios de orden Municipal especialmente orientados a los recursos energéticos utilizados en edificios, pueden citarse los siguientes.

- **Municipalidad de Rosario,** provincia de Santa Fe. Ha sido presentada la Ordenanza Municipal de Aprovechamiento de Energía Solar para la Producción de Agua Caliente.

- **Municipalidad de Venado Tuerto,** provincia de Santa Fe. Ordenanza 3633/08. Declara de Interés Municipal la Investigación, Desarrollo, Producción y uso de Productos por EERR.

- **Municipalidad de Bragado,** provincia de Buenos Aires. Promulgó una ordenanza Municipal con el fin de incentivar la energía solar térmica, con el fin de producción de agua caliente sanitaria.

- **La Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,** ha presentado un proyecto de ley que establece la incorporación obligatoria de sistemas de Captación de Energía Solar Activa para la producción de agua caliente sanitaria, en los edificios y construcciones situados en su territorio.

## 5.1. Incentivos Financieros y Tributarios.

Se encuentran disponibles diversas fuentes de financiamiento por parte del estado que facilitan el estudio, proyecto e inversión en la implementación de los proyectos de ERNC.

### Dirección Nacional de Pre inversión (DINAPREI)

A partir del Decreto 1907/2010 se creó la Dirección Nacional de Pre-inversión (DINAPREI), quien sustituyó, a todos los efectos, a la Unidad de Pre inversión (UNPRE). La DINAPREI se encuentra bajo la órbita de la Secretaría de Política Económica del MECON y

su estructura se encuentra conformada de la Económica del MECON y su estructura se encuentra conformada de la manera mostrada en la Figura 1.



**Figura 1. Estructura de la Dirección Nacional de Pre-inversión (DINAPREI).**

La DINAPREI presta tanto asistencia como financiamiento a diversos organismos nacionales en el estudio y ejecución de proyectos de pre-inversión con el fin de tomar decisiones informadas y sustentables en lo referido a inversión pública. Adicionalmente, provee asistencia para la promoción, asistencia y cualquier otra actividad que permita o ayude en la concreción de los mencionados proyectos. Es decir que financia las fases de planeamiento estratégico, pre-factibilidad, factibilidad y diseño ejecutivo.

Las áreas de acción de la Dirección incluyen a la energía y minería, entre otros, en donde debe asistir y asesorar en la coordinación de estudios de pre-inversión realizados por terceros. Las Entidades Beneficiarias del Programa son todos los organismos del Sector Público a nivel nacional, regional, provincial y local. Las prioridades de los proyectos son dictaminadas por el Gobierno Nacional.

En tal sentido y en relación con las EERR la Dirección ha financiado a costo propio estudios de pre-inversión para proyectos de utilización de biomasa, mini centrales hidráulicas, entre otros. En estos casos el beneficiario debió ser un organismo del estado nacional, provincial o municipal. Algunos de los estudios financiados en la provincia de Buenos Aires fueron:

- Asistencia técnica para analizar la "Factibilidad de utilización de Recursos Hidráulicos para Generación de Energía Eléctrica". En ejecución
- Estudio de factibilidad técnica, económica y regulatoria para la utilización de Biodiesel como combustible para la generación distribuida de energía eléctrica en la Provincia de Buenos Aires. A iniciar

Actualmente, se encuentra en funcionamiento el Programa Multisectorial de Preinversión III financiado con fondos del BID. Los estudios a ser financiados pueden ser generales, es decir aquellos básicos, de carácter regional, local o sectorial, incluyendo análisis que tengan por finalidad la identificación de posibles programas o estudios preliminares; y estudios específicos, es decir, aquellos estudios de pre-factibilidad orientados a determinar mejores alternativas de un proyecto, ampliar y profundizar análisis o diseños finales, entre otros.

A fin de acceder a este programa los requisitos son:

- La entidad beneficiaria deberá conformar un equipo que acompañe el desarrollo del proyecto y sea nombrado como representante técnico e interlocutor con la DINAPREI
- Los estudios de ámbito municipal, deberán demostrar que se enmarcan en los lineamientos del municipio
- Para los de ámbito provincial, deberán contar con la no objeción de la entidad encargada de la planificación de inversión. Dependiendo de la naturaleza del proyecto, se puede requerir además evaluaciones de impacto ambiental, reducción de la pobreza, participación de la mujer, etc. Adicionalmente, se deberá presentar una descripción detallada del proyecto, el programa de actividades junto con el presupuesto y el cronograma. La inclusión de los estudios al programa deberá ser aprobada por un Comité Técnico y la no-objeción del BID.

El monto máximo para un estudio es de USD 3.000.000. No obstante, en casos debidamente justificados se deberá recurrir al BID para la aprobación

## 6. REFERENCIAS

Toda la legislación nacional mencionada en los capítulos anteriores, son referenciadas a la página oficial del estado nacional, [www.infoleg.gov.ar](http://www.infoleg.gov.ar), y la legislación provincial y municipal, a las páginas oficiales de cada gobierno provincial y municipal.

## CAPÍTULO 5

# LEGISLAÇÃO APLICÁVEL PARA OS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRAÇÃO NO BRASIL

### CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. LEGISLAÇÃO SOBRE O IMPÁCTO AMBIENTAL DOS SISTEMAS SOLARES DE CONCENTRAÇÃO .....	3
2.1. Impacto Ambiental.....	5
2.1.1. EIA - Estudo de Impacto Ambiental .....	6
2.1.2. Atividades que Exigem o EIA/RIMA.....	7
3. LEGISLAÇÃO PARA A COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA PELOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRAÇÃO.....	8
3.1. Ambientes de Contratação .....	8
3.1.1. Ambiente de Contratação Regulada.....	8
3.1.2. Energia de Reserva.....	9
3.1.3. Ambiente de Contratação Livre .....	10
3.2. Leilões de Energia Elétrica .....	10
3.2.1. Leilões: Horizontes de Contratação .....	11
3.2.2. Leilão de projeto estruturante .....	12
3.2.3. Leilão de Fontes Alternativas - LFA.....	12
3.2.4. Leilão de Energia de Reserva - LER.....	12
4. LEGISLAÇÃO SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRAÇÃO. ....	12
5. REFERÊNCIAS. ....	13

## 1. INTRODUÇÃO

Em um país como o Brasil, que possui uma grande extensão territorial, com alta incidência de radiação solar, torna-se possível desenvolver tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia térmica e elétrica. A tecnologia (CSP/STE - do inglês “Concentrated Solar Power/Solar Thermal Electricity” ou Energia Solar Concentrada) está pronta para assumir um importante participação na agroindústria brasileira.

Existem 4 conceitos de tecnologia solar térmica concentrada que produzem energia elétrica ao converter a energia solar em calor de alta temperatura usando várias configurações de superfícies espelhadas. Estes sistemas focam a radiação solar direta por meio de dispositivos ópticos para um receptor, transformando a radiação em calor de alta temperatura, apto à produção de vapor.

Embora a disponibilidade de radiação solar seja aproveitável, o interesse pelo uso das tecnologias CSP/STE na geração de energia elétrica é recente. Tal interesse tem sido motivado por diferentes razões, dentre as quais estão as políticas nacionais e internacionais de incentivo ao uso de fontes renováveis e limpas de energia diante do medo das mudanças climáticas e da atual crise energética ao qual o país se encontra.

No Brasil ainda não existe uma legislação própria para o setor de Heliotermia (CSP/STE), o que existem são leis e regulamentos que podem ser aplicados ao setor de geração de energia como um todo e, portanto devem ser atendidos por qualquer empreendimento. Entre estas podemos citar:

- LEI Nº 11.488, DE 15 DE JUNHO DE 2007. (Potência Injetada; PIA) Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura - REIDI; reduz para 24 (vinte e quatro) meses o prazo mínimo para utilização dos créditos da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - COFINS decorrentes da aquisição de edificações; amplia o prazo para pagamento de impostos e contribuições;
- DECRETO Nº 6.048, DE 27 DE FEVEREIRO DE 2007. (Leilão exclusivo para FAR) Altera os arts. 11, 19, 27, 34 e 36 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica.
- LEI Nº 10.848, DE 15 DE MARÇO DE 2004. (Geração Distribuída como opção para distribuição de energia) Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica.
- Decreto-Lei n.º 34/2011. D.R. n.º 47, Série I de 08-03-2011 Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de mini produção.

- RESOLUÇÃO 482/2012 Agencia Nacional de Energia – ANEEL – institui o sistema de Net-meeting para compensação de energia em Micro (<100kW) e Mini geração (<1MW).

A partir desta legislação podemos dividir o mercado Brasileiro em dois grandes grupos, um formado pela geração centralizada, com Centrais acima de 1MW e geração distribuída.

Como geração centralizada a geração solar é classificada como fonte incentivada o que lhe possibilita uma série de reduções de custo para o uso do sistema de transmissão e distribuição. A participação no sistema de geração centralizada se dá pela comercialização via mercado regulado com compra de grandes projetos de energia por meio de leilões organizados pelo governo, ou através do mercado SPOT onde a energia pode ser diretamente comercializada entre o produtor independente e o consumidor livre através da câmara de comercialização de energia elétrica (CCEE).

Já o mercado de geração distribuída baseado em Net-meeting é regularizado pela normativa 482/2012 da ANEEL e normas próprias da distribuidora local, sendo altamente dependente da tarifa paga pelo consumidor e a radiação disponível.

No mercado regulado ocorreu em outubro de 2014 o primeiro leilão de energia solar no qual foram comercializados 10.048 MW de energia solar ao valor médio de R\$ 215,12/ MWh, que não viabilizou nenhum dos seis projetos de CSP/STE inscritos no leilão.

Quanto ao mercado de geração distribuída não há relato de projetos de CSP/STE que participem do sistema de Net-meeting sendo o grupo de Universidade de São Paulo juntamente com a Solinova os pioneiros neste tipo de proposta no Brasil.

As políticas governamentais exercem papel crucial no desdobramento de tecnologias de energia renovável. Diante do panorama atual de inserção da geração termosolar no Brasil, este trabalho descreve a legislação, regras, incentivos e procedimentos para implantação de usinas CSP/STE e comercio de energia solar no Brasil, por meio de um estudo de caso da legislação nacional.

## **2. LEGISLAÇÃO SOBRE O IMPÁCTO AMBIENTAL DOS SISTEMAS SOLARES DE CONCENTRAÇÃO**

No Brasil, as três esferas de governo (União, Estados/Distrito Federal e Municípios) possuem legislações específicas. Os níveis em que os temas são tratados nos diferentes diplomas legais vão do âmbito nacional (União), regional (Estados e Distrito Federal) até o local (Municípios).

A União fixa diretrizes gerais e estabelece as responsabilidades próprias, bem como dos Estados e Municípios. Já as outras duas esferas fixam normas complementares, podendo ser mais restritivas (nunca o contrário). Além das constituições federal e estaduais e das leis orgânicas municipais, outros diplomas legais tratam dos aspectos ambientais, como as leis ordinárias e decretos (ou regulamentos).

Desta forma, tem de estar atentos e conhecer as exigências, normas e procedimentos legais federais e as que cada estado e/ou município estabelecem para a instalação e funcionamento de um determinado empreendimento (Barros & Monticelli, 1998).

A Tabela 1 apresenta a estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente, mostrando as diferentes esferas de poder e suas finalidades (IPT/CEMPRE. 1995).

<b>Tabela 1. Estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama)</b>		
<b>ORGÃO SUPERIOR</b>	Conselho do Governo	A sua função é auxiliar o Presidente da República na formulação da Política Nacional do Meio Ambiente.
<b>ORGÃO CONSULTIVO E DELIBERATIVO</b>	CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente	A finalidade do CONAMA é estudar e propor diretrizes e políticas governamentais para o meio ambiente e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas, padrões e critérios de controle ambiental. O CONAMA assim procede através de suas resoluções.
<b>ORGÃO EXECUTOR</b>	IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	Entidade autárquica, dotada de personalidade jurídica de direito público e autonomia administrativa,

		é a encarregada da execução da Política Nacional para o Meio Ambiente e sua fiscalização.
<b>ORGÃOS SECCIONAIS</b>	Entidades ou Órgãos Estaduais	São entidades estaduais responsáveis pela execução de programas e projetos de controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras (Secretarias Estaduais de Meio Ambiente).
<b>ORGÃOS LOCAIS</b>	Entidades ou Órgãos Municipais	São órgãos ou entidades municipais voltadas para o meio ambiente, responsáveis por avaliar e estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional de seus recursos, supletivamente ao Estado e à União.

## 2.1. Impacto Ambiental

De acordo com a Resolução Conama de 1986: "impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:

- I. A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. As atividades sociais e econômicas;
- III. A biota;
- IV. As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V. A “qualidade dos recursos ambientais”.

Portanto, a definição de Impacto Ambiental está associada à alteração ou efeito ambiental considerado significativo por meio da avaliação do projeto de um determinado empreendimento, podendo ser negativo ou positivo (Bitar & Ortega, 1998).

### **2.1.1. EIA - Estudo de Impacto Ambiental**

A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001/86 define que o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é o conjunto de estudos realizados por especialistas de diversas áreas, com dados técnicos detalhados. No artigo 6º dessa resolução define que o EIA desenvolverá as seguintes atividades técnicas:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;

c) o meio socioeconômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.

III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.

IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados).

### **2.1.2. Atividades que Exigem o EIA/RIMA**

De acordo com o artigo 2º da Resolução Conama, a elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA) e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, devem ser realizados para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente.

Dentre outras atividades, a implantação de usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10MW, exige que sejam realizados EIA/RIMA.

- O EIA é responsável por dizer a respeito da coleta de material, análise, bibliografia (textos), bem como estudo das prováveis consequências ambientais que podem ser causados pela obra. Este estudo tem por finalidade analisar os impactos causados pela obra, propondo condições para sua implantação e qual o procedimento que deverá ser adotado para sua construção.
- O RIMA é um relatório conclusivo que traduz os termos técnicos para esclarecimento, analisando o Impacto Ambiental. Este relatório é responsável pelos levantamentos e conclusões, devendo o órgão público licenciador analisar o relatório observando as condições de empreendimento. Recebido o RIMA o mesmo será publicado em edital, anunciado pela imprensa local abrindo o prazo de 45 dias para solicitação de audiência pública que poderá ser requerida por 50 ou mais cidadãos ou pelo Ministério Público, onde após a realização de quantas audiências forem necessárias é elaborado o parecer final, podendo ser autorizado um licenciamento prévio para realização da obra ou o indeferimento do projeto.

O Estudo de Impacto Ambiental, EIA, e o Relatório de Impacto Ambiental, RIMA, são os estudos mais complexos que podem subsidiar um processo de obtenção de licença prévia. Eles avaliam todas as consequências de um empreendimento para o meio ambiente. O EIA RIMA se tornou obrigatório com a entrada em vigor da resolução número 0001/86 do CONAMA que exige a elaboração destes estudos para a implantação de rodovias, portos, aeroportos, oleodutos, linhas de transmissão, exploração de recursos hídricos, aterros sanitários, usinas, etc. (veja todas as atividades na resolução).

Esta resolução do Conama indica as diretrizes para a elaboração do EIA, diagnóstico ambiental, medidas mitigadoras, além de acompanhamento e monitoramento. O EIA RIMA é analisado pelo órgão ambiental estadual e, em obras de infraestrutura de maior parte ou com abrangência em mais de um estado, pelo IBAMA.

### **3. LEGISLAÇÃO PARA A COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA PELOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRAÇÃO.**

Os leilões de energia elétrica realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), por delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), constituem-se um dos principais mecanismos de comercialização no Brasil. Os compradores e vendedores de energia participantes dos leilões formalizam suas relações comerciais por meio de contratos registrados no âmbito do Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

Os contratos desse ambiente têm regulação específica para aspectos como preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento, os quais não são passíveis de alterações bilaterais por parte dos agentes. Leilões passaram a ser o principal mecanismo utilizado para contratar o suprimento de energia elétrica para as distribuidoras. Tais regras se estendem às concessionárias, permissionárias e autorizadas de geração, de distribuição e de comercialização de energia elétrica, incluindo as empresas sob controle federal, estadual ou municipal.

#### **3.1. Ambientes de Contratação**

A comercialização de energia no Brasil é realizada em duas esferas de mercado: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Todos os contratos, sejam do ACR ou do ACL, têm de ser registrados na CCEE, e servem de base para a contabilização e liquidação das diferenças no mercado de curto prazo.

A Tabela 2 apresenta a diferença entre os dois ambientes no quadro comparativo. Nesses ambientes as empresas geradoras de energia elétrica (vendedores) e as empresas distribuidoras de energia elétrica precisam se submeter a leilões de compra e venda de energia elétrica.

##### **3.1.1. Ambiente de Contratação Regulada**

No Ambiente de Contratação Regulada (ACR) os agentes vendedores (geradores, comercializadores e autoprodutores) e as distribuidoras estabelecem Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) precedidos de licitação ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos. Fazem parte dos ambientes de Contratação Regulada todas as empresas concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional. São obrigadas a participar dos leilões aquelas com mais de 500 GWh/ano de

mercado de consumo. Para as distribuidoras menores a participação é facultativa, uma vez que podem continuar a ser atendidas pela sua supridora tradicional.

**Tabela 2. Síntese comparativa entre ACL e ACR.**

	<b>Ambiente Livre</b>	<b>Ambiente Regulado</b>
<b>Participantes</b>	Geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais	Geradoras, distribuidoras e comercializadoras. As comercializadoras podem negociar energia somente nos leilões de energia existente – (Ajuste e A-1)
<b>Contratação</b>	Livre negociação entre os compradores e vendedores	Realizada por meio de leilões de energia promovidos pela CCEE, sob delegação da Aneel
<b>Tipo de contrato</b>	Acordo livremente estabelecido entre as partes	Regulado pela Aneel, denominado Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR)
<b>Preço</b>	Acordado entre comprador e vendedor	Estabelecido no leilão

### **3.1.2. Energia de Reserva**

A Energia de Reserva é Destinada a aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Esta energia adicional é contratada por meio de Leilões de Energia de Reserva - LER e busca restaurar o equilíbrio entre as garantias físicas atribuídas às usinas geradoras e a garantia física total do sistema, sem que haja impacto nos contratos existentes e nos direitos das usinas geradoras.

A contratação desta energia tem por objetivo reduzir os riscos de desequilíbrio entre a oferta e demanda de energia elétrica. Tais riscos decorem, principalmente, de atrasos imprevisíveis de obras e indisponibilidade de usinas geradoras.

### **3.1.3. Ambiente de Contratação Livre**

No Ambiente de Contratação Livre (ACL) a principal característica é a autonomia que os agentes possuem para negociar as ações de compra e venda de energia elétrica. Os geradores, consumidores livres, autoprodutores, comercializadores, importadores e exportadores de energia estabelecem entre si contratos bilaterais de compra e venda de energia com preços e quantidades livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização, em condições específicas que abrangem preços, prazos, montantes de energia elétrica e flexibilidade no seu uso, hipóteses de rescisão, penalidades e garantias.

## **3.2. Leilões de Energia Elétrica**

São processos licitatórios realizados com o objetivo de contratar a energia elétrica necessária para assegurar o pleno atendimento da demanda futura no Ambiente de Contratação Regulada – ACR (mercado das distribuidoras).

Esse processo começa com a identificação das fontes de geração de mais baixo custo e a aplicabilidade dela no atendimento ao sistema consumidor, para otimizar o conjunto de custos tanto da geração como dos sistemas de transmissão. Esse trabalho é realizado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) sob coordenação do MME (Ministério de Minas e Energia).

Os leilões promovem a competição entre os agentes de geração. A dinâmica de leilão apresenta preços decrescentes definindo como ganhadores aqueles empreendimentos que, somados, apresentem a quantidade demandada de energia elétrica ao menor preço.

Com esses mecanismos, o governo brasileiro assegura a menor tarifa possível para o consumidor. Ou seja, ganha aquele que oferecer energia elétrica pelo menor preço por megawatt/hora para atendimento da demanda prevista pelas distribuidoras. A compra e venda de energia é formalizada por meio de contratos bilaterais, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR). Para cada tipo de leilão, há CCEARs com prazos específicos de duração.

Os vencedores dos leilões celebrarão com os agentes de distribuição Contratos de Comercialização de Energia Elétrica em Ambiente Regulado (CCEAR), correspondendo as suas necessidades de compra para entrega no ano de início de suprimento da energia contratada no certame.

O objetivo do governo é promover a competição entre os agentes de geração na contratação de energia elétrica, atendendo os princípios de segurança no abastecimento e de modicidade tarifária, e contratar energia a partir desse modelo, principalmente em aquisições pelo menor preço.

### 3.2.1. Leilões: Horizontes de Contratação

Leilão A-5: processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado com 5 (cinco) anos de antecedência do início do suprimento. Esse foi criado para viabilizar empreendimentos de longa maturação, como, por exemplo, os empreendimentos hidrelétricos.

Leilão A-3: processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração novos realizado com 3 (três) anos de antecedência do início do suprimento. Esse leilão foi criado para viabilizar empreendimentos de médio prazo de maturação, como, por exemplo, os empreendimentos termelétricos.

Leilão A-1: processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração existentes realizado com 1 (um) ano de antecedência do início do suprimento. Excepcionalmente, no ano de 2013, o início de entrega poder-se-á dar no ano da licitação.

Leilão de Ajuste: processo licitatório que tem por objetivo complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor dos agentes de distribuição, até o limite de 1% do mercado de cada distribuidora (Figura 1).

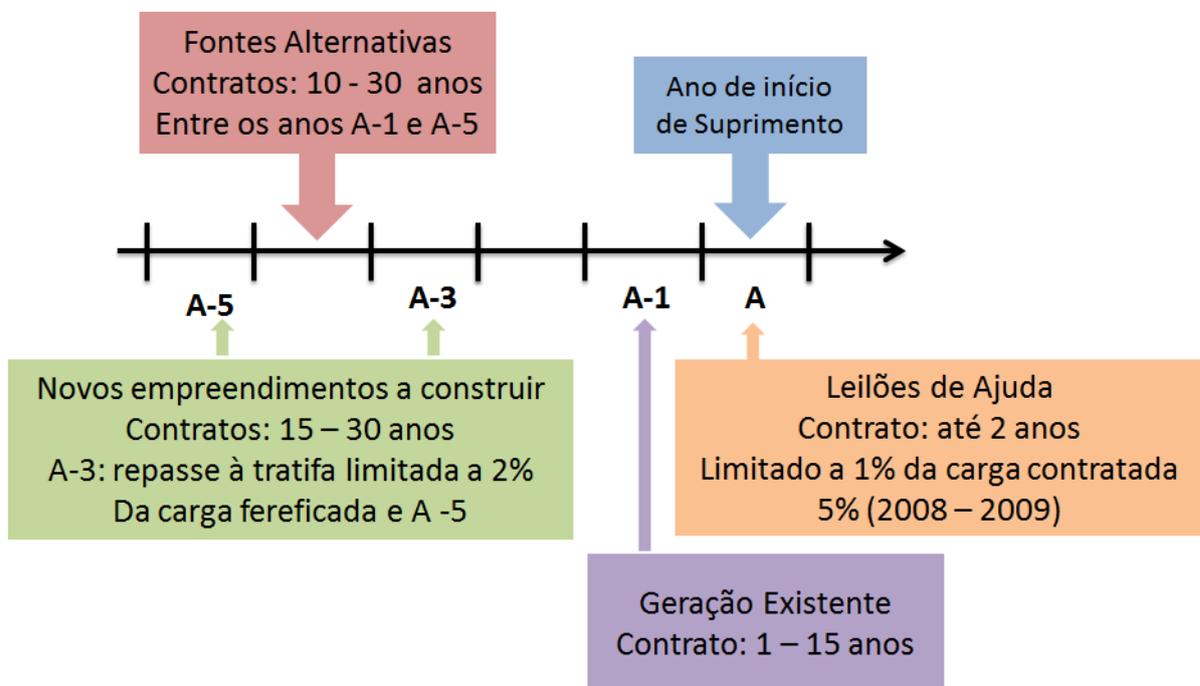


Figura 1. Horizontes de contratações

### **3.2.2. Leilão de projeto estruturante**

São leilões de compra de energia proveniente de projetos de geração de caráter estratégico e de interesse público, que asseguram a otimização do binômio modicidade tarifária e confiabilidade do Sistema Elétrico, bem como garantem o atendimento à demanda nacional de energia elétrica, considerando o planejamento de longo, médio e curto prazos.

### **3.2.3. Leilão de Fontes Alternativas - LFA**

Os leilões de fontes alternativas foram criados com o objetivo de incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica, introduzindo fontes renováveis e ampliando a participação de energia eólica e da bioeletricidade.

### **3.2.4. Leilão de Energia de Reserva - LER**

Seu objetivo é elevar o patamar de segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN) com energia proveniente de usinas especialmente contratadas para este fim.

## **4. LEGISLAÇÃO SOBRE ESTÍMULOS PÚBLICOS E INCENTIVOS PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRAÇÃO.**

Os principais mecanismos de incentivo ao aproveitamento energético de fontes renováveis, como o sistema de cotas (renewable certificates e leilões de compra), pelo qual as distribuidoras de energia elétrica são obrigadas a atender parte de seu mercado com fontes renováveis, e o sistema de preços (feed-in tariff), pelo qual a geração por fontes renováveis é adquirida a preços diferenciados, tal como praticado em países europeus, toda a energia produzida pela fonte incentivada é medida e remunerada a preços diferenciados.

Atualmente existe um mecanismo político criado para acelerar investimentos em tecnologias produtoras de energias renováveis, com incentivos a projetos de P&D que colaboram na implantação das renováveis.

A possibilidade de produzir energia por fontes incentivadas tem sido encorajada por políticas que incluem: regulamentação (como o FiT “feed-in tariff”), metas de participação na matriz, prioridade de acesso ao grid, mandados de construção civil, hibridização de sistemas. Outras categorias de políticas são: incentivos fiscais (taxas),

pagamentos direto ao governo (descontos e concessões) e mecanismos públicos de financiamentos (empréstimos e garantias).

As políticas podem ser específicas por setor, podem ser implementadas em um local específico, podem ser de âmbito federal, estadual ou municipal (ou mesmo regional) e podem ser complementadas por cooperação bilateral, regional ou internacional. Dentre outros, os principais mecanismos utilizados para incentivar a geração:

- Tarifa-premio: Aquisição, pela distribuidora, da energia a uma tarifa superior àquela paga pelo consumidor. Subsídio dado pelo governo e repassado aos demais consumidores – exterior.
- Cotas (ROC, RPO, REC, RPS e leilões): Instrumento de aquisição obrigatória de determinado patamar de geração elétrica a partir de fontes renováveis.
- Subsídio ao investimento inicial: Subsídio direto sobre equipamentos específicos ou sobre o investimento total no sistema.
- Fundos de investimentos: Oferta de ações em fundos privados de investimentos.
- Edição Lei nº 9.074 (07.07.1995) – Introdução de novos agentes na iniciativa privada em relação às atividades da indústria de energia elétrica.
- Art. 21, XII, “b” – Constituição Federal 1988 – Permite a possibilidade de que serviços e instalação de energia elétrica possam ser desenvolvidas mediante a utilização por investidores privados e não necessariamente sob o influxo do regime do serviço público, por um novo modelo competitivo atacadista, no qual os serviços de energia elétrica, possam ser desenvolvidos ou explorados mediante utilização do direito privado.

Ainda mais que as atuais medidas políticas, é preciso salientar a necessidade do desenvolvimento sistemático ainda maior de políticas que favoreçam a redução de riscos e no retorno do investimento, em um ambiente estável (SRREN, 2011). Instrumentos políticos sólidos e apropriados, incluindo políticas de eficiência energética, se tornam ainda mais importantes quando há expectativa de aumento na demanda de energia, e sua infraestrutura ainda está sendo construída.

## 5. REFERÊNCIAS.

- [1] BITAR, O.Y & ORTEGA, R.D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 32, p.499-508.

*Capítulo 2: Legislação aplicable para los SSTC en Brasil*

- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE-DEE-RE-066/2013-R1: EXPANSÃO DA GERAÇÃO EMPREENDIMIENTOS HELIOTÉRMICOS Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica. Rio de Janeiro – Rj: Mme, 05/02/2014. 32 p.
- [3] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. NO EPE-DEE-RE-028/2013-R2: EXPANSÃO DA GERAÇÃO Sistema de Acompanhamento de Empreendimentos Geradores de Energia Elétrica- AEGE Manual para Empreendedores. Rio de Janeiro – Rj: Mme, 13/03/2015. 47 p.
- [4] IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS). Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. Publicação IPT/Cempre 2.163 (São Paulo), 278p, 1995.
- [5] SRREN. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: final release - summary for policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011.