

Estudio para definir áreas geográficas adecuadas para la implementación de plantas solares termoeléctricas de torre en la Argentina

Pablo Alejandro Haim

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951 (C1179AAQ) , Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

alejandrohaim@frba.utn.edu.ar

Recibido el 13 de Abril de 2013, aprobado el 16 de Mayo de 2013

Resumen

En este artículo se resume el trabajo de tesis final de la Maestría en Energías Renovables en el cual se analizaron distintas tecnologías para la obtención de energía eléctrica a partir de la radiación solar, seleccionando la más adecuada técnica y económicamente factible. Se analizaron los distintos parámetros más importantes que definen la posible localización de la planta, determinando zonas aptas para la instalación de plantas solares termoeléctricas en la Argentina

PALABRAS CLAVE: ENERGÍA RENOVABLE - SOLAR CONCENRADA -TERMOELÉCTRICA - ARGENTINA - UBICACIÓN

Abstract

This article summarizes the final thesis Masters in Renewable Energy in which various technologies for the production of electricity from solar radiation radiation were analyzed, selecting the most appropriate technical and economically feasible. Analysys of several important parameters that define the possible location of a plant wade and switable areas for the installation of solar power plants in Argentina were identified.

KEYWORDS: RENEWABLE ENERGY - CONCENTRATED SOLAR – THERMOELECTRIC – ARGENTINA - LOCATION

Introducción

El agotamiento de las fuentes tradicional de energías no renovables, la contaminación ambiental como los gases de efecto invernadero, sus consecuencias, y los aumentos de precios de los combustibles fósiles están despertando el interés de estados de distintos puntos del mundo en cambiar su paradigma energético, cambiando por fuentes de energías renovables. Hoy en día la energía más afianzada es la energía hidráulica seguida por la eólica, biomasa y solar fotovoltaica.

Además, la Energía Solar aprovechada en centrales termoeléctricas es otra manera de generar energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable. Estas centrales trabajan concentrando los rayos del sol obteniendo temperaturas del orden de los 200 a 565°C, dependiendo del tipo de tecnología, lo que permite calentar distintos tipos de fluidos para luego generar vapor y utilizarlo un ciclo Rankine para transformarlo en energía eléctrica.

Existen distintos tipos de tecnologías para concentrar los rayos solares, los sistemas más conocidos son:

- Cilindroparabólicos
- Campos de heliostatos con torre receptora
- Lentes de Fresnel Lineal.
- Discos parabólicos con motores Stirling

La gran ventaja que tienen las dos primeras tecnologías es que permiten almacenar la energía del sol en forma térmica mediante sales fundidas llegando a obtener un régimen de funcionamiento y generación de energía eléctrica las 24 h.

La tecnología cilindroparabólica es la que posee más plantas en funcionamiento, y España es líder en esta tecnología y en plantas en funcionamiento. Sin embargo, la tecnología de campos de heliostatos con torre receptora ha demostrado con la planta Gemasolar instalada en la provincia de Sevilla en España, ser una tecnología competitiva y con mejores resultados que las plantas con sistemas cilindroparabólicos.

La tecnología cilindroparabólica, Fig. 1 y 2, consiste en una serie de espejos curvados parabólicamente que al ser orientados al sol respecto de su eje de simetría, refleja los rayos del sol concentrándolos en su foco lineal por el cual pasa una tubería por el que circula generalmente aceites especiales o sales fundidas. Este fluido es calentado por el sol hasta unos 400°C a partir de lo cual intercambia su calor con agua para generar un vapor que será inyectado a una turbina también de vapor acoplada a un generador eléctrico.

En el caso de la tecnología de campos de heliostatos con torre receptora, Fig. 3 y 4, los espejos están distribuidos alrededor de una torre que es la encargada de coleccionar la energía del sol



Fig. 1. EXTRESOL 1, 2 & 3 Parabolic Trough Plants 50 MWe, Badajoz- España. Fuente: SENER



Fig. 2. EXTRESOL 1, 2 & 3 Parabolic Trough Plants 50 MWe, Badajoz- España. Fuente: SENER



Fig. 3. Central Gemasolar, Sevilla – España. Fuente: Torresol Energy S.A.

reflejada en los espejos. Cada espejo o heliostato posee movimientos en los 2 ejes, independientes de los demás heliostatos, dirigiendo los rayos del sol hacia un único colector solar (receptor) que se encuentra en lo alto de la torre. Mediante esta tecnología se pueden calentar las sales hasta una temperatura de 565°C, obteniendo mejores rendimientos en las turbinas

de vapor. La relación de concentración solar en los cilindros parabólicos es del orden de 30 a 100 veces la intensidad normal del sol y en las centrales de torre las concentraciones son del orden 200 a 1000 veces la radiación normal. Las plantas cilindroparabólicas poseen un factor de capacidad del 30%, mientras las de torre poseen un 75% (SENER 2012).



Fig. 4. Vista aérea de Gemasolar (17MWe) Fuente: Torresol Energy S.A.

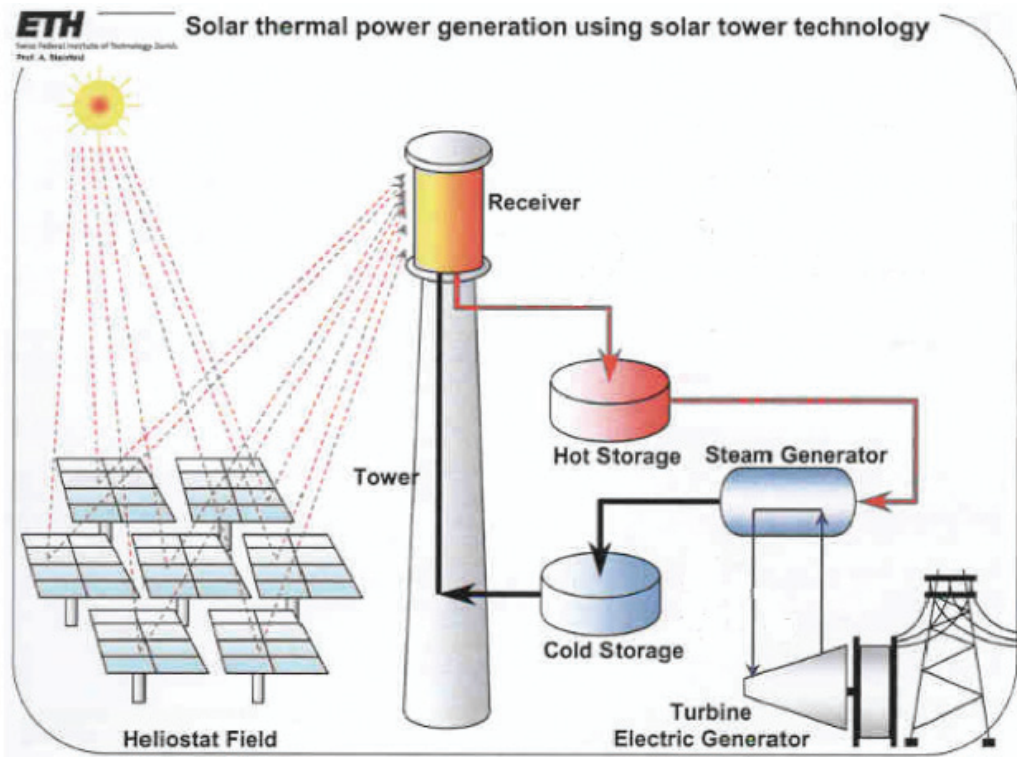


Fig.5. Esquema de funcionamiento de una planta solar termoelectrica con campo de heliostatos. Fuente: Maestría de Energías Renovables UTN

Los rayos solares recibidos en el colector de la torre calientan las sales a 565°C y son almacenadas en el tanque de sales calientes. Luego aquellas pasan por un intercambiador de calor generando vapor, para finalmente, ser almacenadas en el tanque de sales frías a 290°C. Fig. 5.

Una ventaja que presenta la tecnología solar termoeléctrica por concentración es que permite almacenar la energía excedente del sistema en forma de energía calórica utilizando sales fundidas.

La planta Gemasolar ubicada en Sevilla, España; posee este sistema que permite un funcionamiento continuo de la planta entregando energía eléctrica las 24 h. La potencia eléctrica de la planta es de 17 MWe y su capacidad de almacenamiento energético permite 15 h de funcionamiento a potencia nominal con ausencia del sol.

En el siguiente gráfico, Fig.6, se visualiza la radiación solar recibida por los heliostatos, la radiación recibida por el colector de la torre, el nivel de almacenamiento y la producción de energía eléctrica en forma ininterrumpida.

Parte experimental

El estudio se realizó en la empresa Torresol Energy S.A.. El mismo buscó definir zonas potenciales de la Argentina para la ubicación de plantas solares termoeléctricas de torre central.

Para ello, primeramente, hubo que elaborar el primer mapa solar de radiación directa normal de la Argentina mediante cálculos, ya que en este país no existe una red solarimétrica que mida valores de radiación solar directa normal, parámetro fundamental para definir la ubicación de este tipo de plantas. Los valores diarios de radiación solar directa para la instalación de ese tipo de plantas deben ser superiores a 4,75 kWh/m² (Burgaleta 2011).

En el 2008 C. Raichijk, H. Grossi Gallegos y R. Righini; publican: "Cartas preliminares de irradiación directa para la Argentina". Esta publicación contiene mapas solares de irradiación solar directa global y normal de los meses de Julio y Enero realizados mediante cálculos y se los compara con valores obtenidos de satélites de la NASA. Con estos y otros datos disponibles se obtuvieron los valores de irradiación directa normal de los 10 meses restantes, se generaron mapas y capas con estos valores que se utilizaron en sistemas de información geográfica.

Para la obtención y cálculo de esos datos se realizó una matriz de datos en planillas de Excel en los que se volcaron la siguiente información:

- Datos de irradiación solar global de la Argentina para los 12 meses del año con valores de latitud y longitud obtenidos del "Atlas de Energía Solar de la República Argentina".

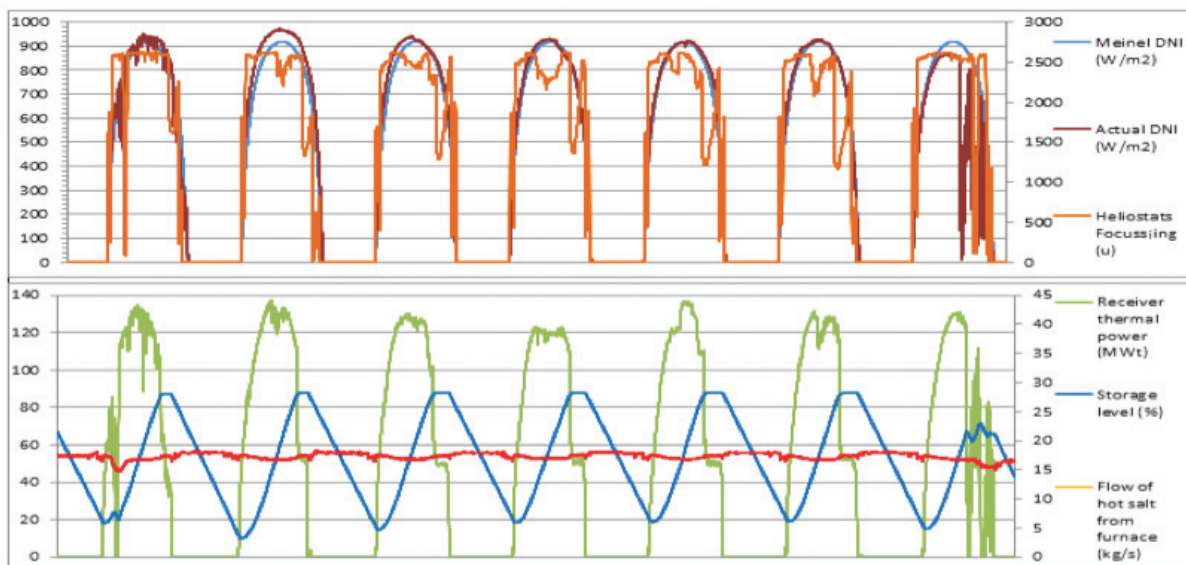


Fig. 6. Gráfico de funcionamiento de la planta Gemasolar de 17MWe. Fuente: Torresol Energy

- Datos de irradiación solar directa normal en la Argentina de los meses de Enero y Julio obtenidos de las "Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina."

- Datos de irradiación solar directa normal de la Argentina obtenidos mediante un programa *METONORM*, que calcula los valores de irradiación solar global y directa normal en función de su base de datos de estaciones meteorológicas de Argentina y países limítrofes, y datos de satélite. El programa *METONORM* es una aplicación comercial que utiliza datos climáticos de 7.400 estaciones de medida en todo el mundo. Gran parte de los datos provienen de *Global Energy Balance Archive* y de la Base de Datos de Suiza recopilada por *MeteoSwiss*.

- Datos de irradiación solar directa normal de España obtenidos del programa *Satel-Light* (al ser datos del hemisferio norte y Argentina encontrarse en el hemisferio sur se desfilaron los valores 6 meses para poder compararlos con los valores de Argentina). Los datos que proporciona el *Satel-Light* son estimaciones procedentes de modelos de estimaciones a partir de imágenes de satélites, validados con mediciones en tierra.

Para determinar los 10 meses restantes de valores de irradiación solar directa normal de la Argentina, se tomaron los valores de irradiación solar global de los 12 meses del año (datos Altas de Energía Solar de la República Argentina) y los valores de irradiación solar directa normal de Julio y Enero (Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina) para 64 puntos equidistantes del país y se compararon con toda la matriz de base de datos obtenidas por el programa *METONORM* y el *Satel-Light* analizando las diferencias de los valores y el desvío estándar para cada punto.

Los datos de irradiación solar global de los 12 meses del año, y los valores de irradiación solar directa normal de Julio y Enero, obtenidos del programa *METONORM* y *Satel-Light*; se los compararon con a los valores obtenidos por el Atlas de Energía Solar de la República Argentina y las Cartas de preliminares de irradiación directa para la Argentina. Se consideraron como compatibles los valores obtenidos del *METONORM* y *Satel-Light* que presentaron una diferencia inferior al 0,5 kWh/m² y un

desvío estándar inferior a 0,5 seleccionando los de menor diferencia y desvío estándar.

De esta manera se validaron los datos obtenidos del *METONORM* y el *Satel-Light* para los 64 puntos de Argentina para los valores de irradiación solar global de los 12 meses del año y los valores de irradiación solar directa normal de Enero y Julio, asumiendo que los 10 meses restantes de los valores de irradiación solar directa normal obtenidos por el *METONORM* y *Satel-Light* son los correspondientes para los 64 puntos de la Argentina. De esta manera y con estos datos se completaron los valores faltantes de irradiación solar directa normal de los 10 meses, obteniendo valores de irradiación directa normal para los 12 meses del año de la Argentina.

Una vez obtenidos los valores de radiación solar directa normal de los 12 meses se calcularon los valores anuales de irradiación. Con estos valores y su posición según sus respectivas coordenadas se trabajó con el programa *Surfer* de *Golden Software, Inc.* que permite realizar gráficos de curvas de nivel, en este caso de radiación, Fig. 7. Este programa también permite exportar los archivos en formato (.shp) para poder trabajarlo en sistemas de información geográfica que se detallará su uso y aplicación más adelante

Otros factores influyentes y determinantes a la hora de establecer una ubicación son: la orografía, la disponibilidad del recurso hídrico, sistema interconectado nacional, acceso a rutas e inclinación del terreno, por ejemplo. Para determinar las zonas potenciales se utilizaron herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y se obtuvieron gráficos con esas zonas potenciales.

La irradiación directa normal, es el recurso solar más importante por eso, para definir la ubicación de la planta se la ha tomado como parámetro absoluto reduciendo el área de ubicación de planta solo a zonas cuyos valores superan los 4,75 kWh/m² promedio anual, debido a que es el valor mínimo utilizado por la empresa *Torresol Energy* para definir ubicaciones de planta.

Para determinar las zonas de influencia del Sistema Interconectado Argentino y para definir la ubicación de la planta se ha trabajado

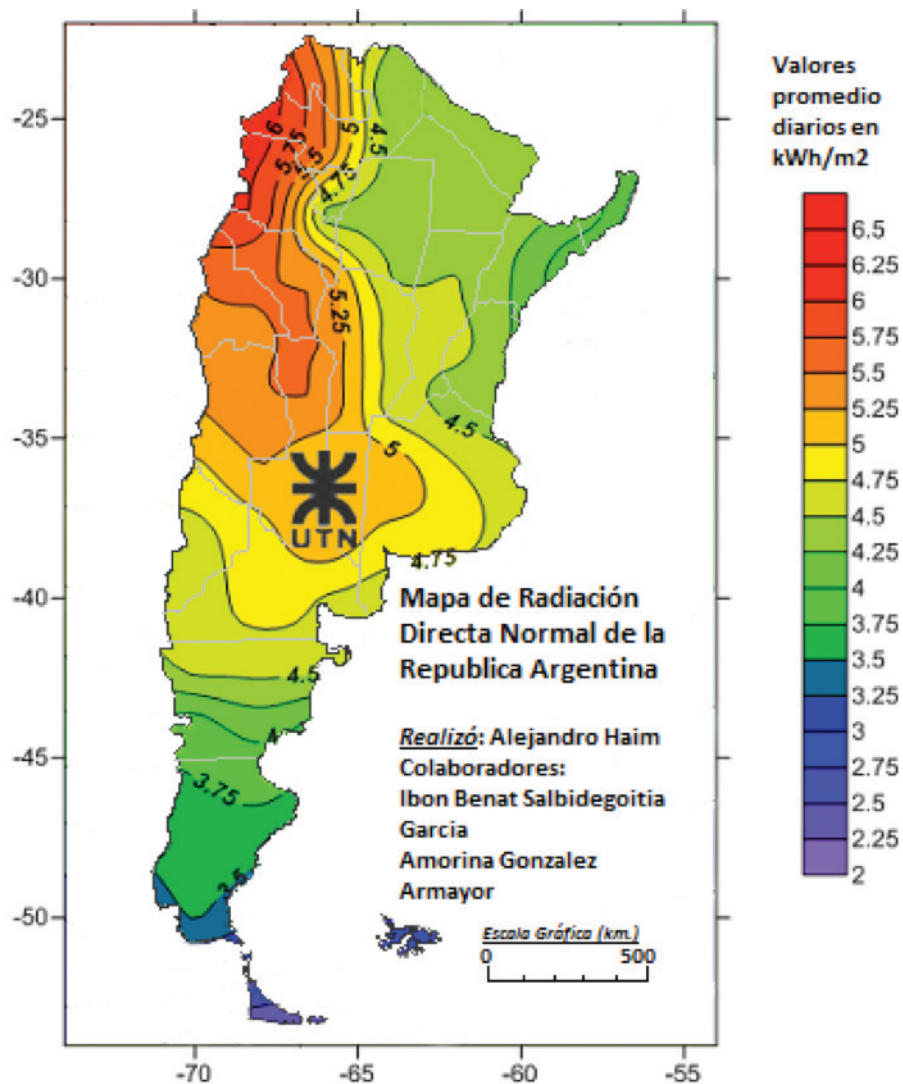


Fig. 7. Mapa de radiación Directa Normal de la República Argentina.

con las capas del contorno Argentino y las provincias, con las líneas de tensión superiores a 132 kV. Se delimitó el sector de trabajo solo al área de irradiación solar en estudio y se seleccionó una zona de aceptación del sistema interconectado de un radio de 50km alrededor de las líneas de transmisión.

Para definir las zonas de influencias de rutas en el sector de irradiación solar admisibles se ha trabajado en la capa de rutas, delimitándolo solo al sector de estudio de irradiación, cargando las capas de irradiación haciendo intersección con las capas de rutas quedando como resultado la capa de rutas en zonas de radiación solar superior a 4,75 kWh/m²., para luego adicionar las capas de contorno Argentino y provincias.

Para definir las zonas de influencias de disponibilidad de recursos hídricos superficiales se cargaron en los programas la capa de irradiación solar directa y la capa de recursos hídricos delimitando la zona de estudio a las zonas de irradiación solar mayor a 4,75 kWh/m². Luego se cargaron las capas de contorno argentino y las provincias, con los recursos hídricos disponibles en un radio o "buffer" de 50 km.

Resultados

Una vez obtenidas las diferentes capas de rutas, irradiación, líneas eléctricas y recursos hídricos superficiales se cargaron los mismos en el programa y se logró una superposición e intersección de las capas identificando así,

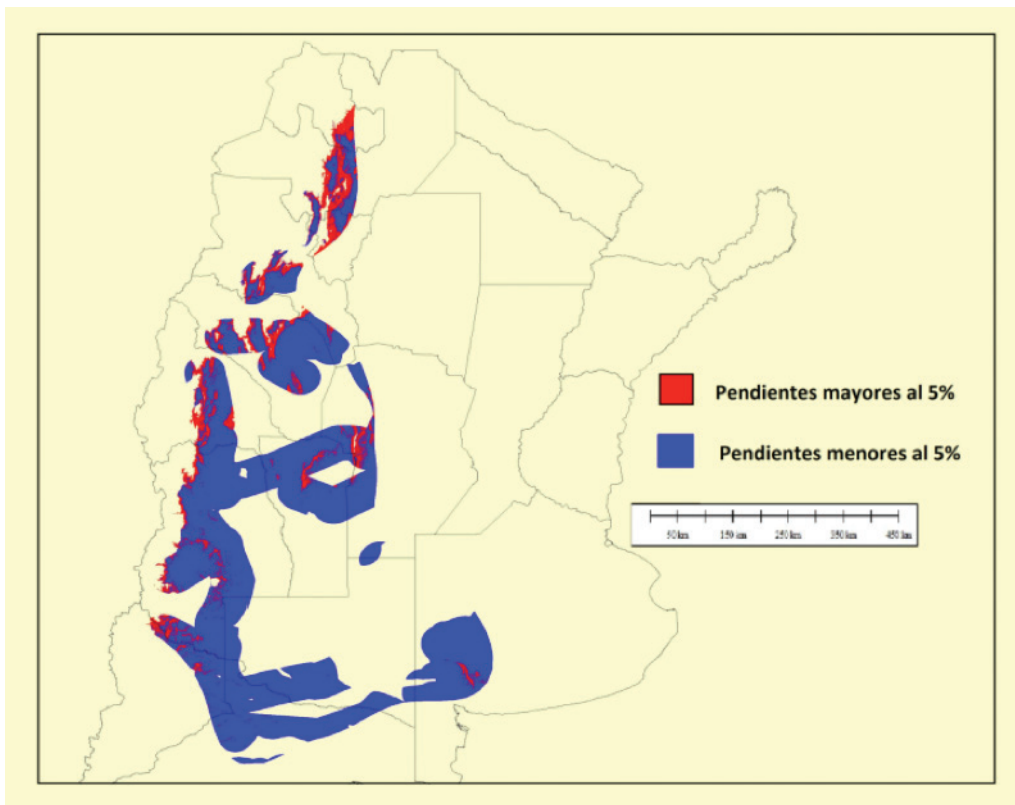


Fig. 8. Gráfico de radiación solar directa en las zonas óptimas para la instalación de plantas solares termoeléctricas

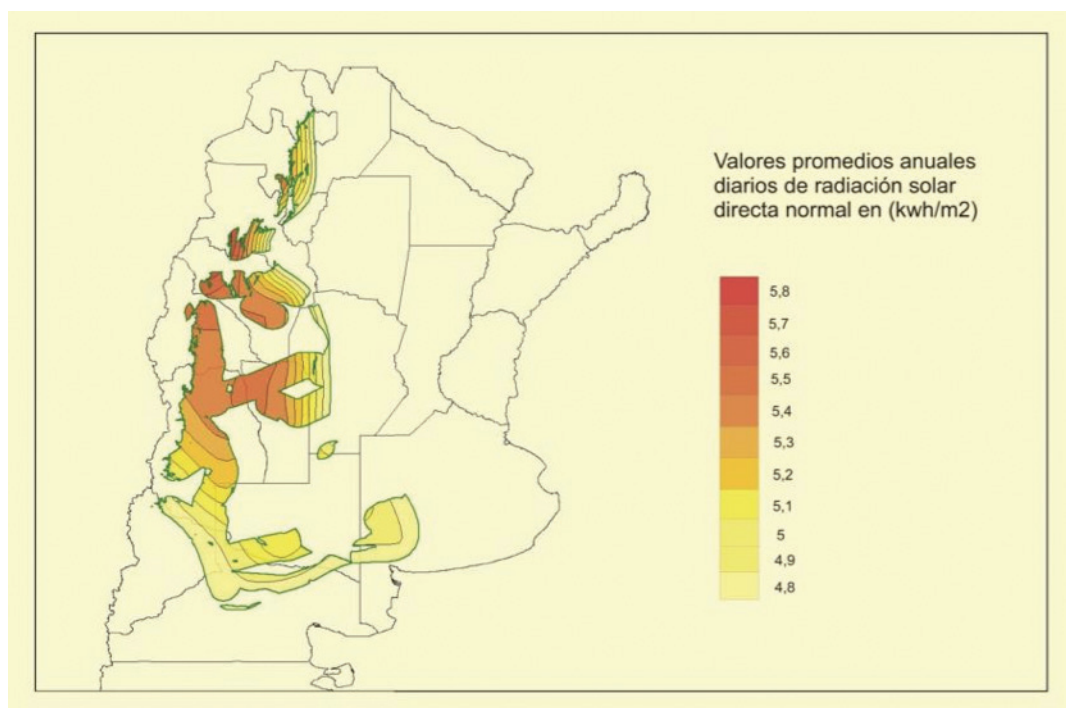


Fig. 9. Gráfico de zonas óptimas para la instalación de plantas solares termoeléctricas discriminando pendientes mayores al 5%

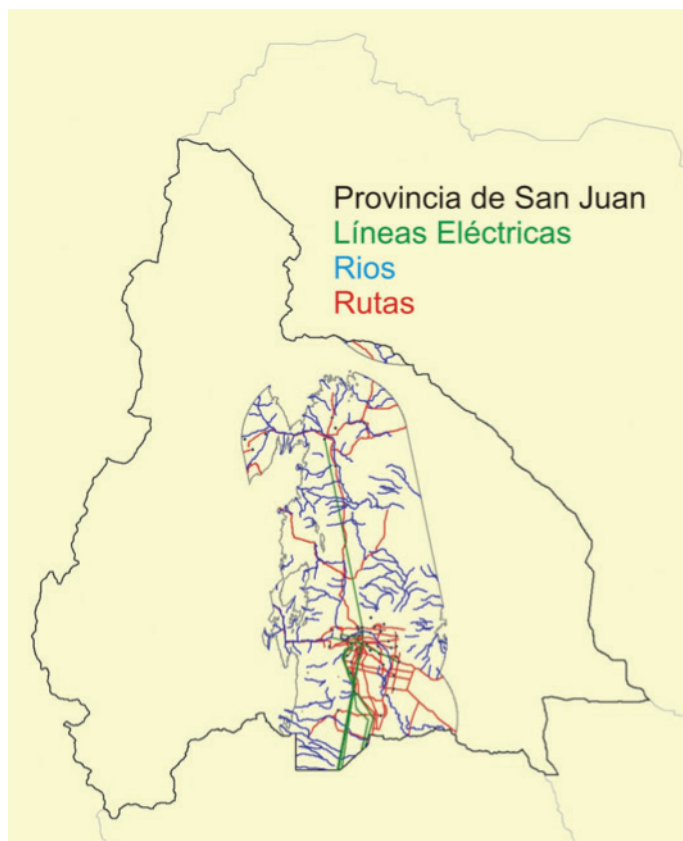


Fig. 10. Mapa de recursos hídricos, acceso a rutas y sistema interconectado de la Provincia de San Juan con un radio de intersección de 50km

las zonas que cumplen con los diferentes parámetros. Fig. 8.

La zona donde es recomendable ubicar la planta debe tener una pendiente o inclinación menor al 5%, para ello se discriminaron del gráfico anterior todas las zonas de pendientes mayores al 5% y las zonas con pendientes menores al 5%, que serían las aptas. Fig. 9.

Luego, mediante una matriz de decisión, se analizaron los recursos de cada provincia: acceso a redes eléctricas, acceso a rutas pavimentadas y disponibilidad de recursos hídricos. Se determinó que las provincias más aptas para instalar este tipo de tecnología son en orden de importancia: San Juan, La Rioja, Mendoza, San Luis, debido a su alta radiación solar directa combinada con la gran disponibilidad de recursos indispensables para el funcionamiento de la planta. En la Fig. 10 se pueden visualizar las zonas más aptas de la provincia de San Juan que disponen de recursos hídricos, acceso a rutas y posibilidad de

interconexión con el sistema interconectado en un radio de 50 km.

Discusión

Una gran ventaja que presenta la tecnología solar termoeléctrica por concentración, en comparación con otras fuentes renovables, es que permite almacenar la energía excedente del sistema en forma de energía calórica utilizando sales

A la hora de seleccionar una tecnología para generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, no solo se debe analizar la cantidad de energía disponible sino la disponibilidad de la misma durante todo el año y la posibilidad de despacharla según las necesidades del mercado eléctrico.

La tecnología solar termoeléctrica ofrece soluciones al mercado eléctrico que otras tecnologías de energías renovables no brindan como por ejemplo la eólica o la solar fotovoltaica,

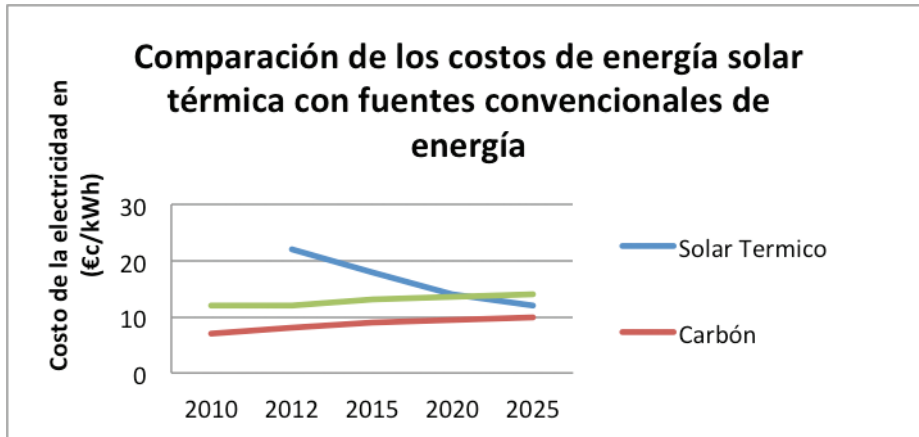


Fig. 11. Comparación de los costos de energía solar térmica con fuentes convencionales de energía

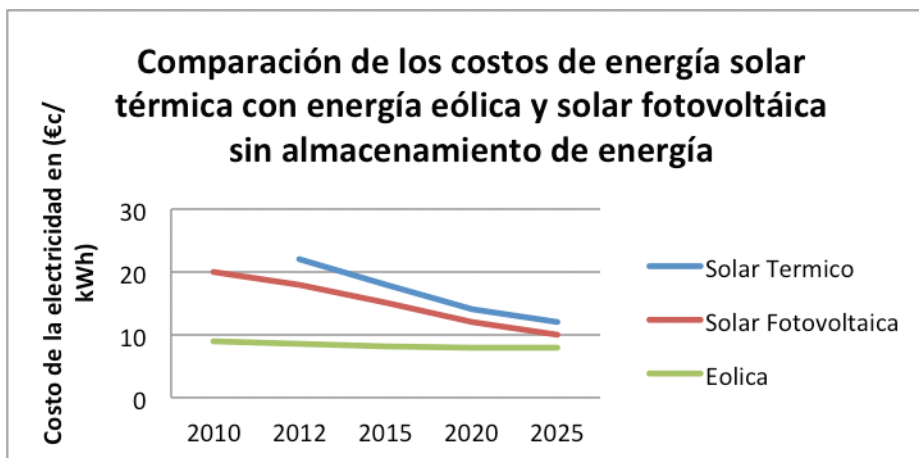


Fig. 12. Comparación de los costos de energía solar térmica con energía eólica y solar fotovoltaica sin almacenamiento de energía

que es el almacenamiento energético y la posibilidad de elección de despacho energético eléctrico por parte del generador.

Los costos de generación de energía eléctrica comparada con combustibles fósiles aún están por encima, pero se estima que para el 2020 se igualen los costos de los ciclos combinados lo que lograría una penetración muy fuerte en el mercado eléctrico mundial. Fig. 11.

Si comparamos los costos de la energía termoeléctrica con almacenamiento, con la solar fotovoltaica y eólica sin almacenamiento, ésta se encuentra por encima de ambas. Sin embargo, si comparamos ambas tecnologías considerando su almacenamiento energético, la tecnología solar termoeléctrica se encuentra por debajo a las demás tecnologías res-

pecto al precio de la energía. Fig. 12.

Argentina presenta un excelente escenario para el aprovechamiento de la energía solar termoeléctrica, teniendo en cuenta la disminución de los costos energéticos de la tecnología y la necesidad energética que presenta el país. Se puede pensar que la Argentina en poco tiempo puede tener instaladas este tipo de plantas como ya lo hicieron nuestros vecinos chilenos.

Conclusiones

En la tesis se ha analizado y justificado: la utilización de la energía solar para la generación de energía eléctrica analizando las distintas tecnologías termosolares. Como se ha visto, la tecnología cilindroparabólica y de torre

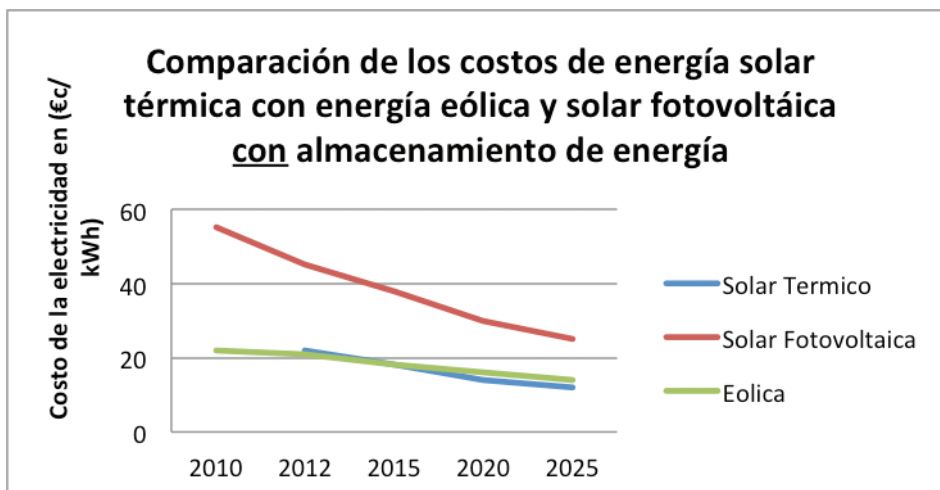


Fig. 13. Comparación de los costos de energía solar térmica con energía eólica y solar fotovoltaica con almacenamiento de energía

central son las más confiables. No obstante, la tecnología de torre central presenta mayores ventajas técnicas y económicas que la de los cilindros parabólicos.

Además analizaron los parámetros más importantes que determinan las posibles zonas para instalar una planta solar termoeléctrica de torre; dada la carencia de datos al respecto, se realizó un mapa de radiación solar directa normal de la República Argentina ya que actualmente el país no cuenta con una red de pirheliómetros que midan irradiación solar directa. El área de estudio quedó delimitada por las zonas de irradiación directa normal admisibles para la instalación de plantas, analizando los parámetros de recursos hídricos, rutas, sistema interconectado nacional y pendientes menores al 5%. Se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar cuáles son las zonas que cumplen con todos los parámetros y mediante una matriz de decisión se determinó cuáles son las provincias más propicias para la instalación de la planta, primero San Juan, seguida de La Rioja, Mendoza y San Luis, en orden de importancia.

Si bien esta tesis define áreas o zonas óptimas para la instalación de plantas solares termoeléctricas es recomendable instalar primeramente una estación meteorológica en la zona definida para la planta y medir valores de los distintos instrumentos, durante 12 meses consecutivos, para validar los datos meteorológicos existentes en la región seleccionada, especialmente los valores de radiación solar directa normal.

Los costos de la energía son superiores a los del mercado eléctrico argentino, por lo tanto para la lograr la instalación de este tipo de plantas en el país, es indispensable presentarse en las licitaciones públicas como por ejemplo las que ofrece la Secretaria de Energía a través del Programa de Generación de Energía Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (GENREN), que fija precios de venta de la energía eléctrica a valores superiores a los del mercado con el objetivo de incentivar la inversión en energías renovables, con contratos a 15 años.

Respecto del impacto ambiental este tipo de plantas están catalogadas como de bajo impacto ambiental ya que contribuyen con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, en el análisis de ciclo de vida se determinó que el tiempo necesario para la recuperación de energía utilizada para construir la planta es de 7 meses y 15 días, siendo la vida útil de la planta de 25 años. Esta estimación puede extender varios años más, con un adecuado mantenimiento y recambio de partes.

Agradecimientos

Al Ing. Juan Ignacio Burgaleta director de la tesis y a todo su equipo de trabajo. Al Dr. Juan Carlos Jimeno co-director de tesis. A los ingenieros Ramiro Garbarini y Cecilia Sánchez que me han abierto las puertas de su laboratorio y enseñado a utilizar las herramientas SIG. A la Universidad Tecnológica Nacional y en especial al Dr. Walter Legnani.

Referencias

- GROSSI GALLEGOS, H. y RIGHINI, R., (2007). Atlas de energía solar de la República Argentina. Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Argentina.
- HAIM, P. A. (2012). Estudio para definir áreas geográficas adecuadas para la implementación de plantas solares termoeléctricas de torre en la Argentina. Tesis de Maestría de Energías Renovables. UTN. Bs. As. Argentina.
- RAICHIJK, C.; GROSSI GALLEGOS; H. y RIGHINI,R., (2008). Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12. Argentina.
- ROMERO ALVAREZ, M., (2000). Energía Solar termoeléctrica. CIEMAT, Almería, España.
- STEINFELD, A., (2010). Concentrated Solar Power & Fuels, Instituto Tecnológico de Energía, Zúrich. Suiza.
- TÉLLEZ, F. y ZARZA, E., (2009). Curso sobre Sistemas Solares Térmicos de Concentración. Ciemat tomo 1, Madrid. España.
- BURGALETA, J. I. (2012). Torresol Energy S.A. Bilbao. España.