



**EVALUACION DE DENSIDAD DE ENERGIA SUPERFICIAL SOLAR INCIDENTE EN
SUPERFICIE Y UBICACIÓN DE LAS MEJORES LOCACIONES PARA INSTAURAR
PLANTAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA BASADA EN SISTEMA
TERMOSOLARES EN ANTOFAGASTA
(RESUMEN)**

SOLICITADA



EJECUTADA



VERSION 1.0

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción 3

Sobre la región de Antofagasta 4

Sobre la Constante Solar de la radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera 4

Sobre los factores de corrección básicos para estimar la Radiación Solar en Superficie 5

Densidad de energía superficial solar sobre superficies inclinadas 5

Modelamiento de la Radiación superficial (I), considerando los parámetros locales de Antofagasta 7

Modelamiento de la Ubicación de los Mejores Sitios para la Ubicación de Plantas Termo solares en Antofagasta versión 1.0..... 8

Conclusiones 9

Bibliografía 10

Introducción

El actual alza de precios a nivel mundial observada en los combustibles fósiles, la cual ha sido causada por el crecimiento de su utilización y estimaciones de la reservas de este combustible a nivel mundial lo cual ha contribuido en su especulación, ha generado una grave crisis social y económica la cual se ha visto concretada en movilizaciones de gremios como a su vez en el malestar de la población, todo lo anterior sin mencionar los impactos ambientales que ha traído la emisión continua de carbono a la atmósfera debido a la combustión de estos combustibles que ha sido uno de los precursores del fenómeno de cambio climático.

Debido a lo anterior ha surgido la necesidad a nivel mundial de explorar en la utilización de nuevas fuentes de energías no contaminantes, económicamente viables y de fácil acceso, surgiendo entre estas la energía solar, muchos se consultaran por que esta y no otra, la respuesta a esto surge en que la cantidad promedio de densidad de energía en el tope de la atmósfera (unos 80 kilómetros sobre la superficie terrestre) es de aproximadamente 1367 watt m^{-2} , esto en términos reales nos implica que en un metro cuadrado en una hora cae la suficiente energía para tener prendidas trece ampolletas de cien watt en una hora, y en una superficie de una hectárea (aproximadamente 10000 m^2) cae una cantidad de trece millones de watt (MW), y en una superficie de un kilómetro cuadrado 1367 MW . Lo anterior no es totalmente cierto pero es una muy buena idea de una fuente energética la cual esta disponible 12 horas diarias los 365 días del año, realmente la cantidad de densidad de energía superficial que cae sobre la superficie del planeta se ve drásticamente afectada, debido a que la radiación en los 80 kilómetros que recorre desde su tope hasta el suelo es en fracciones de ella reflejada, absorbida y transmitida debido a que en la atmósfera suceden un sin numero de procesos de interacción de naturaleza física y química que generan que lo que realmente nos llega sea entre un 3% a 22% de la energía solar incidente en el tope de la atmósfera, dependiendo del sector del planeta en que nos encontremos y las condiciones meteorológicas observadas.

Se tiene que en Chile, en la segunda región de Antofagasta se observa un gran potencial de captación de energía solar, siendo testigo de esto los calcinados suelos existentes en la zona los cuales le confieren la denominación de desierto (zona intervenida por el trópico de capricornio), esto en conjunto con su muy baja nubosidad y excelentes condiciones meteorológicas le confieren a este desierto un potencial máximo de incidencias de densidad superficial de energía solar de 300 watt m^{-2} en horas críticas del día.

Sobre la región de Antofagasta

La presente región se caracteriza por ser de índole minera entre las que destacan las producciones de plata, molibdeno, oro, litio, hierro, yodo, carbonato de calcio y cuarzo, posee el segundo producto interno bruto mas grande a nivel país solo superado por la región metropolitana, con un crecimiento promedio del 8.9% el cual supera las estimaciones a nivel nacional, tiene una superficie de 126.000 km², con una densidad poblacional de 3.92 habitantes por km², de esta región produce un 24.2% de los ventas de productos de exportación del país, entre los cuales cabe mencionar Cátodos y Secciones de Cátodos, de Cobre Refinado, Minerales de Cobre y sus Concentrados, Nitrato de Potasio Fertilizante, Oro en Bruto, Carbonato de Litio y Harina de Pesca, de lo anterior surge la siguiente consulta, si esta es una región exportadora de recursos naturales no renovables a escala humana ¿que sucederá con esta cuando sus recursos se agoten?, una de las múltiples respuesta a esta problemática estaría en la producción de energía eléctrica a través de procesos termo solares industriales, aprovechando el alto nivel de radiación solar incidente durante el día y la ausencia de adversas condiciones meteorológicas en la región originadas por una parte a la influencia del anticiclón del Pacífico Sur, que bloquea el paso de sistemas frontales y por otro, el efecto de barrera de la Cordillera de Los Andes, que impide el arribo de las masas de aire húmedas que provienen del sector tropical continental.

Sobre la Constante Solar de la radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera

Se tiene que la mayor parte de la energía que llega a nuestro planeta procede del Sol, llega en forma de radiación electromagnética y la tasa de energía total en todas las longitudes de onda sobre una unidad de área normal sobre la superficie terrestre, de los rayos provenientes del sol, se le denomina constante solar extraterrestre lo. Su valor es de alrededor de $1,4 \cdot 10^3 \text{ Watt m}^{-2}$ (1354 Watios por metro cuadrado según unos autores, $1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ según otros), lo que significa que a 1 m² situado en la parte externa de la atmósfera, perpendicular a la línea que une la Tierra al Sol, le llegan algo menos que $1,4 \cdot 10^3$ Joules cada segundo. Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un periodo de 30 años, como se menciono anteriormente la intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

Sobre los factores de corrección básicos para estimar la Radiación Solar en Superficie

Para el cálculo de radiación solar en superficie es de relevancia tener el conocimiento de tres factores de geometría solar esenciales, el primero de ellos es el factor de corrección para la posición de la tierra en su órbita denominado factor de corrección tierra sol (E_o), que lo que hace es corregir el valor de distancia entre la tierra y el sol que es de 1 Unidad astronómica (1 U.A. = $149.6 \cdot 10^6$ Km), su formula de calculo esta dada a través de la siguiente expresión:

$$E_o = 1 + 0.033 \text{ COS } (2\pi \text{ dn } / 365), \text{ dn es el día juliano de 0 a 365 días}$$

Según la formula simplifica de Duffe y Beckman 1980

El segundo factor de relevancia es el factor de declinación solar δ que es un evaluador del movimiento aparente anual que nace a consecuencia de que el sol no tiene las mismas coordinas ecuatoriales en todo instante, sino que sufre una constante variación en declinación y en ascensión recta que es aparente al paso de los días. La declinación varia desde los $-23^{\circ}27'$ hasta los $+23^{\circ}27'$, mientras que su ascensión varia de 0° a 360° , o también de 0 a 24 horas, lo cual quiere decir que realiza un giro completo durante el año, su formula de calculo es:

$$\delta = 23.45 \text{ SIN } [360 (\text{dn} + 284) / 365]$$

Según la formula simplifica de Cooper 1969

El tercer factor es el ángulo horario, que evalua el desplazamiento angular del Sol en el plano del ecuador celeste. Debido a lo cual en la mañana ω será negativo, y positivo por la tarde, su formula de calculo es:

$$\omega = \text{TSV} * 15$$

Donde TSV es el Tiempo Solar Verdadero, que es el tiempo basado en el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste. A las 0:00 hora solar verdadera, el Sol atraviesa el meridiano del observador y alcanza la máxima altura sobre el horizonte. Así pues, el Tiempo Solar Verdadero comienza a contarse a partir del mediodía solar (mitad del día)

Densidad de energía superficial solar sobre superficies inclinadas

Para aplicaciones de tecnología solar es necesario conocer la densidad de energía superficial que incide a nivel instantáneo y horario. Supongamos que el dispositivo de colección solar esta inclinado

respecto a un ángulo respecto a su posición horizontal y esta orientado al sur del lugar, de decir este capta radiación directa, reflejada desde la tierra y difusa del suelo, pero principalmente la estudiada es la directa ya que las otras son consideradas despreciables debido al alto nivel de pristinidad de los cielos del lugar (Atmósfera limpia visibilidad 340 km), se tiene para calcular la densidad de energía en la superficie inclinada (I) usamos la presente formula:

$$I = I_0 E_0 [\cos(\beta) \cos(\theta_z) + \sin(\beta) \sin(\theta) \cos(\psi - \gamma)]$$

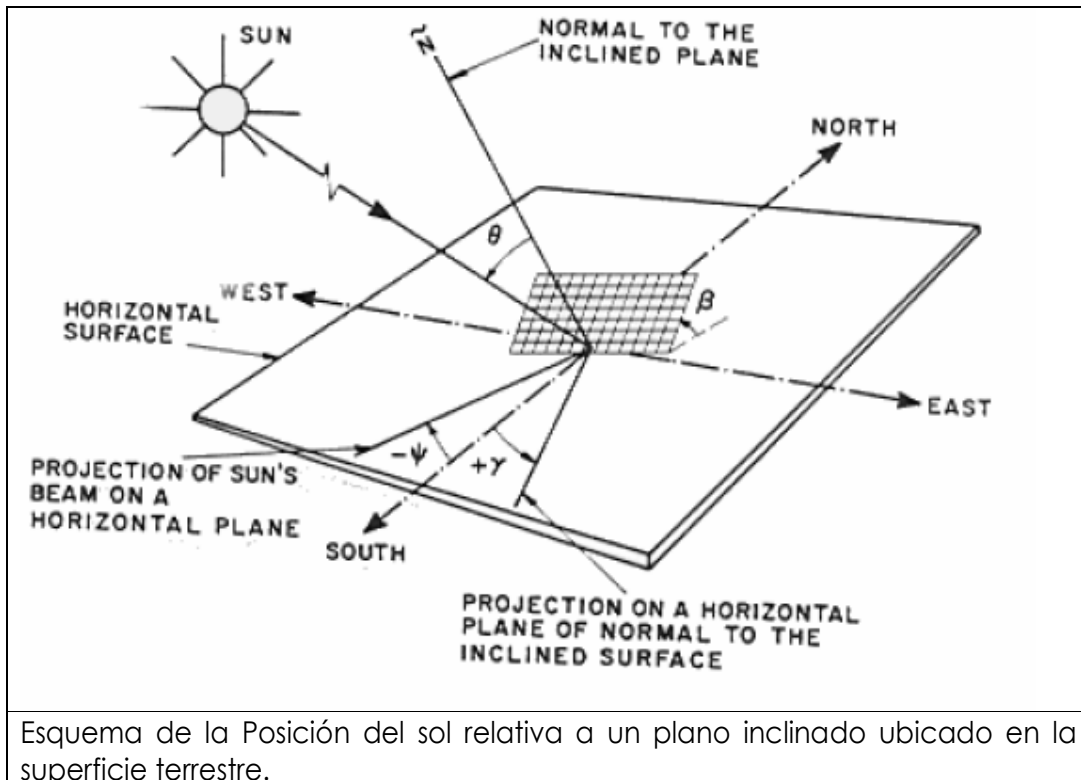
Donde β es la pendiente de la superficie, γ es la exposición al sol , ψ es el ángulo azimutal solar con

$$\cos(\psi) = [\sin(90 - \theta_z) \sin(\varphi) - \sin(\delta)] / \cos(90 - \theta_z) \cos(\varphi)$$

Y θ_z el ángulo zenital solar, dado por

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(w)$$

donde w es el ángulo horario y φ la latitud.

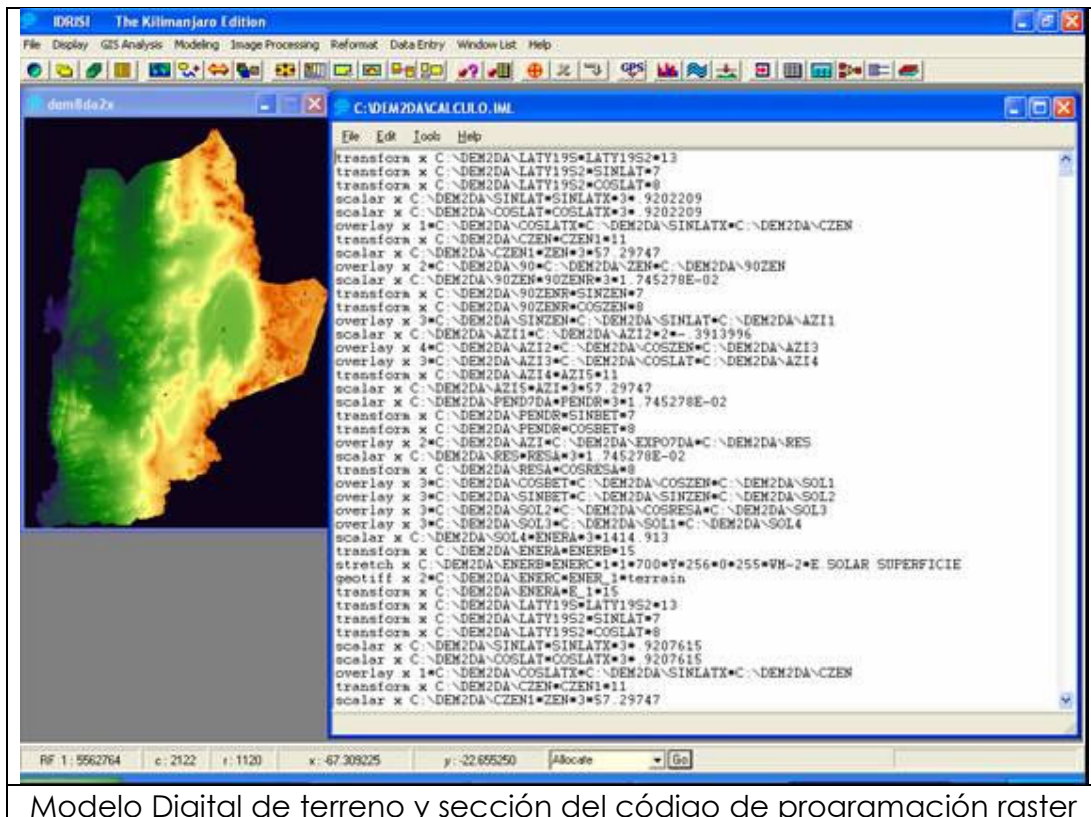


Modelamiento de la Radiación superficial (I), considerando los parámetros locales de Antofagasta

Con el objetivo de obtener una robusta modelación de la radiación solar directa en superficie en la segunda región de Antofagasta, se procedió a realizar el establecimiento de una grilla de análisis 740 m de resolución del píxel, establecer el modelo digital de terreno de la región basado en los datos del satélite topográfico SMRT, y la generación de las grillas de latitud.

Los factores como la declinación solar y el factor de corrección tierra –sol fueron estimados de forma diaria para el modelo, y el ángulo horario fue estimado para medio día.

Posteriormente se procedió a realizar una rutina de modelamiento raster asistida por “Qbasic” y el modulo “Macro” de el software de información geográfico “Idrisi”, implementando en este el algoritmo antes mencionado.



Modelo Digital de terreno y sección del código de programación raster

Modelamiento de la Ubicación de los Mejores Sitios para la Ubicación de Plantas Termo solares en Antofagasta versión 1.0

Con el objetivo de establecer una red de lugares en donde sea factible técnicamente instalar plantas de producción de energía basadas en el sistema termo solar, se procedió a modelar en programación raster el sistema de información geográfica, condicionando la antes mencionada en función de parámetros claves de topografía, infraestructura y otros, que a continuación se exponen:

Se tiene que los condicionamiento básicos para encontrar lugares en la región de Antofagasta los cuales sean de interés para instalación de plantas termo solares con necesidades de recursos hídricos, están en función de

Lugar optimo $f(\tau, \alpha, I, \zeta, \varepsilon, \eta)$

Donde

τ : Topografía

α : Disponibilidad de Recurso Hídrico

I : Radiación Solar Superficial

ζ : Accesibilidad

ε : Red Eléctrica principal cercana

η : Condiciones meteorológicas favorables

Lugar optimo $f(\tau, \alpha, I, \zeta, \varepsilon, \eta)$: Se tiene que como lugar optimo, se considera a los sitios los cuales tengan las presentes características,

τ : Planos a levemente ondulados

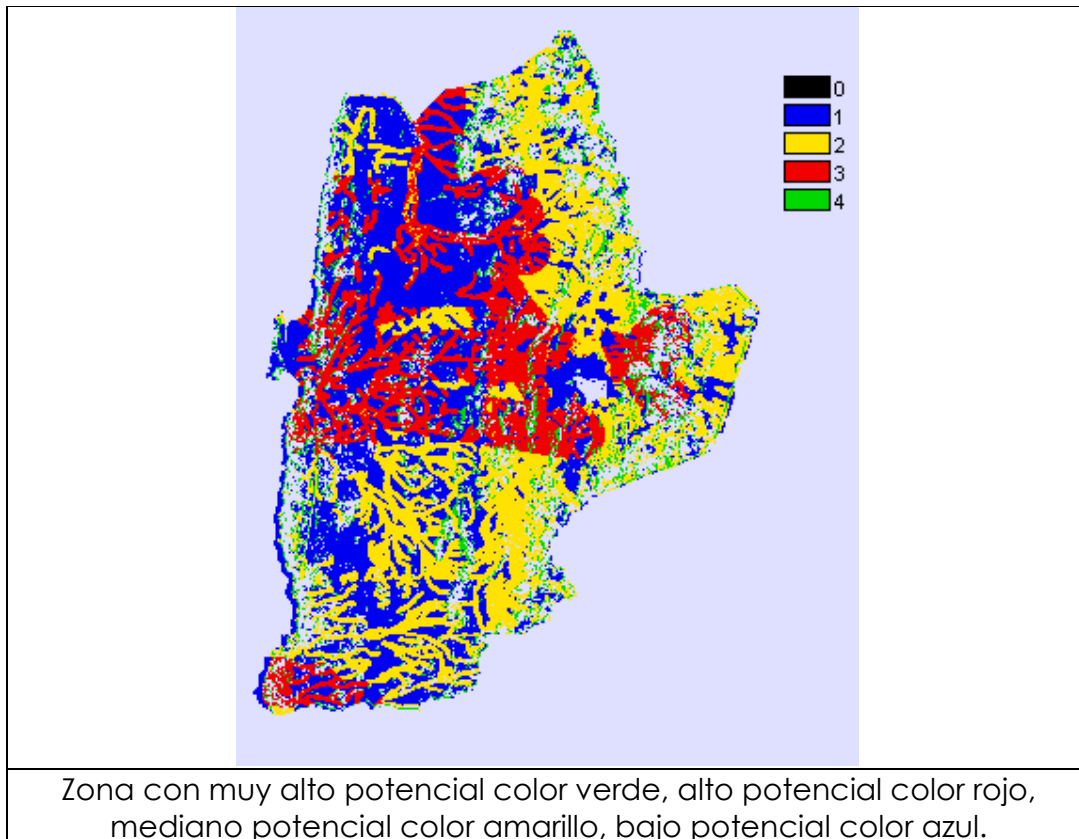
α : Cercanía a cursos hídricos (rango 2 Km)

ζ : Cercanía a redes viales (rango 5 km)

ε : Cercanía a redes eléctrica (rango 20 km)

η : Condiciones de baja nubosidad.

Con los factores antes mencionados se obtuvo el siguiente análisis espacial cruzado,



Se tiene que las zonas con:

- Muy alto potencial, tienen una probabilidad de 75% captación en superficie de 50 a 287 watt m⁻² (7,46% de la región, 9.407 km²),
- las zonas de alto potencial tienen una probabilidad de captación del 75% en superficie de 50 a 100 watt m⁻² (17,23% de la región, 21.718 km²),
- las zonas de mediano potencial tienen una probabilidad de captación del 50% en superficie de 50 a 100 watt m⁻² (27,18% de la región, 34.251 km²),
- las zonas de bajo potencial tienen una alta probabilidad de captación real menor a 50 watt m⁻² (32,61% de la región, 41.091 km²).

Conclusiones

- La región de Antofagasta cumple en un 84,9% de condiciones Topográficas básicas para la instalación de plantas termo solares,

- El agua es una limitante crítica en tecnología termo solar la cual ocupe este fluido en sus circuitos asistidos, por lo cual disminuye de forma drástica las zonas con muy alto potencial.
- El 24,69% de la región de Antofagasta presenta un potencial óptimo para producción termo solar industrial, siendo solamente limitante en su probabilidad de efectiva incidencia de densidad de energía superficial el factor de nubosidad otorgado por eventos de origen marino (nubosidad) y cíclicos anuales (invierno altiplánico).
- Debido a los estudios de unión del SIC con el SING en San Isidro, la red eléctrica no es una limitante crítica del sistema, por otra parte la región presenta un buen nivel de accesibilidad al territorio.

Bibliografía

- Curso de energía solar, José Casanova Colas, Universidad de Valladolid, Secretariado de publicaciones de la universidad, 1993.
- Radiación Solar - Medidas y Cálculos, Escuela superior de ingenieros de Sevilla, 2005.