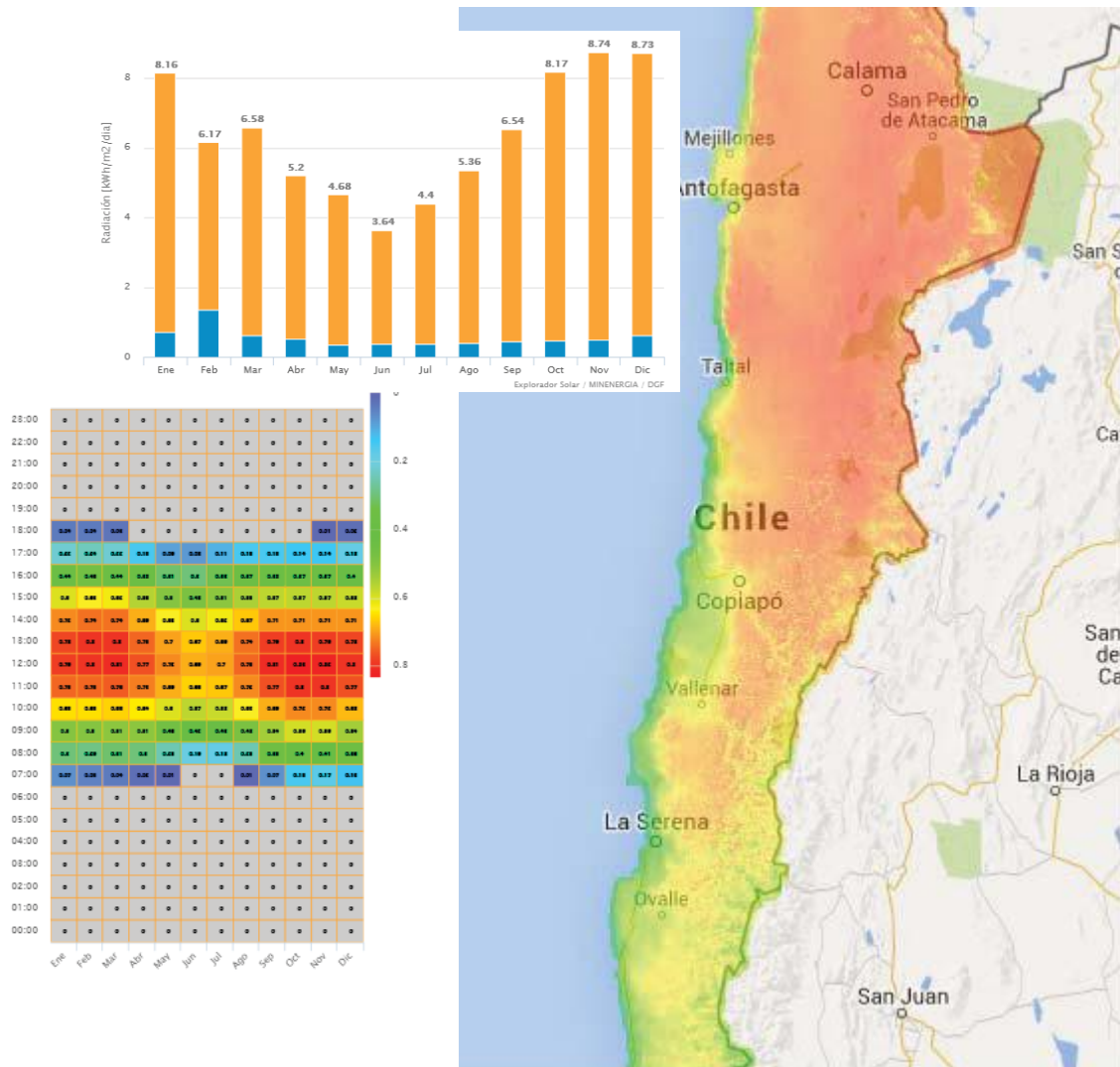




Ministerio de
Energía

Gobierno de Chile

Explorador Solar para Autoconsumo



Manual del Usuario

Versión 2016



fcfm

Geofísica

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Introducción

El Explorador Solar es una potente herramienta para la exploración del recurso solar en Chile y para la estimación de generación de energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos.

El Explorador Solar entrega información sobre la radiación solar incidente en cualquier punto del país, con resolución espacial de 90 metros. Para cada punto se pueden obtener las series de radiación global y directa cada 30 minutos, en todo el período comprendido entre los años 2004 y 2015. Esto permite conocer la variabilidad del recurso en el tiempo y reducir la incertidumbre en la generación de energía a largo plazo.

En este manual encontrará información sobre la base de datos utilizada en el sitio web y sobre las herramientas en línea que puede emplear para la planificación de un sistema fotovoltaico.

Conceptos de radiación solar

La radiación que recibimos del sol, antes de ingresar a la atmósfera, es en promedio 1366 W/m^2 , esta energía es en parte absorbida, reflejada y dispersada por las nubes, las partículas (o aerosoles) y las moléculas que componen la atmósfera terrestre. De esta manera la atmósfera (a través de su composición), influencia la cantidad de radiación solar que llega a la superficie del planeta en cada punto y en cada momento. Por lo tanto, para conocer la radiación que alcanza la superficie terrestre, es necesario conocer las características de la atmósfera y su composición en cada lugar del espacio y del tiempo.

Los principales procesos involucrados en la atenuación de la radiación son la absorción por vapor de agua y aerosoles, y la dispersión de la radiación por efecto de las nubes. Es importante entonces notar, que mientras mayor sea el camino recorrido por el rayo, mayor será su interacción con la atmósfera y por lo tanto mayor será su atenuación. Es por esto, que cuando el sol está directamente sobre un sitio (cerca de medio día), la radiación alcanza su máximo, y disminuye mientras más cerca del horizonte se encuentre el sol, el mismo efecto ocurre durante el año, alcanzándose el máximo de radiación en verano y el mínimo en invierno.

Radiación directa y difusa

La radiación que alcanza la superficie es la suma de los rayos que vienen directamente del disco solar, lo que se denomina **radiación directa**, y de los rayos que han sido dispersados por la atmósfera y que por lo tanto provienen de distintas partes del cielo, lo que se conoce como **radiación difusa**. A la suma de estas dos componentes se le denomina **radiación global**.





Radiación horizontal, normal y en un plano inclinado

Se le denomina **radiación normal** incidente, a la radiación recibida en una superficie perpendicular a los rayos provenientes del sol. Para recibir la radiación normal durante todo el día, es necesario que la superficie receptora se mueva de este a oeste siguiendo la posición del sol. Si la superficie que recibe la radiación está horizontal, es decir, perpendicular al radio de la tierra, se le denomina **radiación horizontal**.

Usualmente, es más sencillo recolectar la energía solar en una superficie que no se mueva a lo largo del día, pero se intenta encontrar un ángulo de inclinación para la superficie receptora tal que se optimice la cantidad de radiación recibida durante el día y/o el año, a esto se le denomina **radiación incidente en un plano inclinado**.

Base de datos de radiación solar

La metodología para el cálculo de radiación en el Explorador Solar incluye un modelo de transferencia radiativa (CLIRAD-SW) para calcular la radiación solar global y sus componentes directa y difusa, en cielo despejado. En este cálculo se considera el efecto de la masa de la columna atmosférica y la interacción de la radiación con el vapor de agua, ozono, dióxido de carbono y aerosoles.

El modelo de cielo despejado considera el efecto de los aerosoles en la radiación usando una base de datos de baja resolución que no logra capturar las altas concentraciones en las ciudades, para considerar este efecto se ha incorporado una función empírica que corrige la radiación global y directa en las zonas urbanas de mayor área en el país. En Santiago, esta corrección reduce en un 20% la radiación en cielo despejado, lo cual se condice con los valores de radiación observados.

Posteriormente se incorpora el efecto de la nubosidad a través de un modelo empírico que relaciona la atenuación de la radiación con la reflectividad de la nubosidad, extraída de los datos del canal visible del satélite GOES EAST y combinado en días de nieve con los datos satelitales de MODIS.

Finalmente, se ha incorporado el efecto de las sombras, que proyecta la topografía sobre el terreno, en la radiación directa y global, usando un modelo de elevación digital de 90 metros de resolución.



Se ha evaluado la calidad de los resultados obtenidos con el modelo anteriormente descrito, comparando con los datos de radiación global horizontal medidos en 78 estaciones distribuidas en todo el país y 10 estaciones en el norte grande con datos de radiación global en seguimiento. Parte de esta red de datos fue implementada por GIZ en conjunto con el Ministerio de Energía. Las otras estaciones pertenecen a diversas redes de medición públicas y privadas (DMC, AGROMET, etc.).

En la figura 1 se muestra un diagrama de dispersión del valor promedio de la insolación diaria en cada estación para el rango de tiempo disponible en cada una. En el eje vertical se muestran los valores del modelo y en el eje horizontal los valores observados. Se puede ver que el modelo tiene un buen desempeño y para la mayoría de las estaciones la diferencia con los datos observados no supera el 10%. El modelo muestra un sesgo en promedio de 0.1% y un RMSE de un 10.6% para las series de insolación diaria.

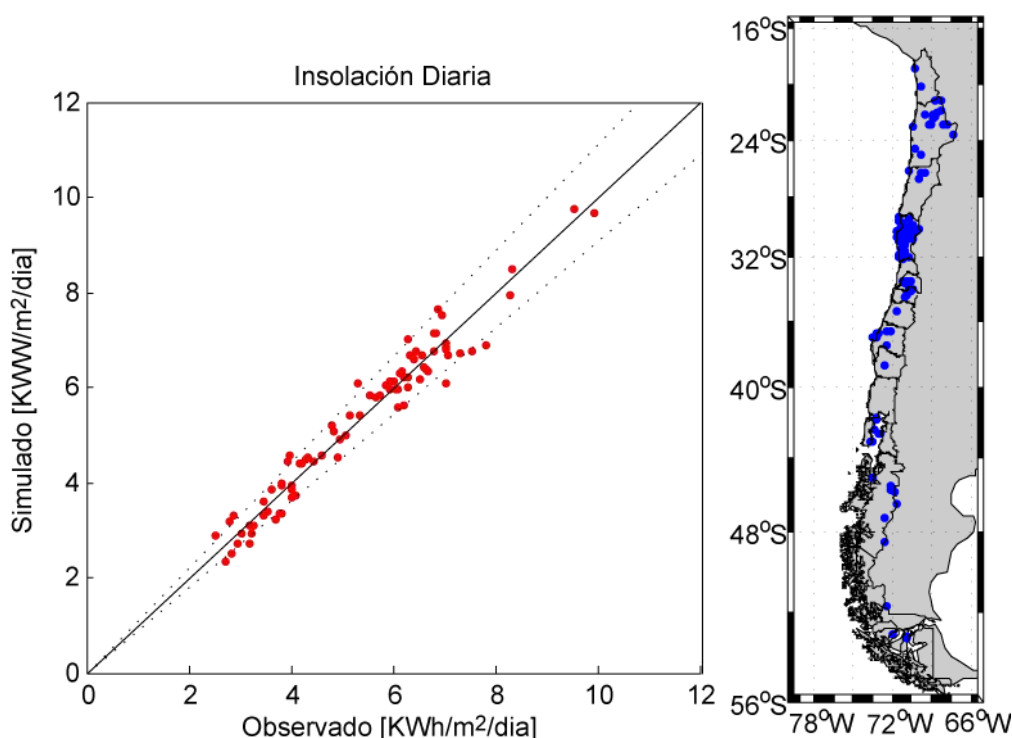


Figura 1: Izquierda: Diagrama de dispersión entre la insolación diaria promedio observada y modelada, para el período de tiempo disponible en cada estación. Las líneas punteadas indican el rango de diferencia de un 10%. Derecha: mapa de ubicación de las estaciones usadas en la validación.

Considerando la incertidumbre de las observaciones y de los datos usados en la modelación, se sugiere considerar, para la zona norte y centro del país, un rango de incertidumbre en la insolación diaria de $\pm 5\%$ y de $\pm 10\%$ para los datos horarios. Sin embargo, al sur de los -40° de latitud la incertidumbre es mayor debido a alta presencia de nubosidad y nieve.



Planificando la instalación de un sistema fotovoltaico

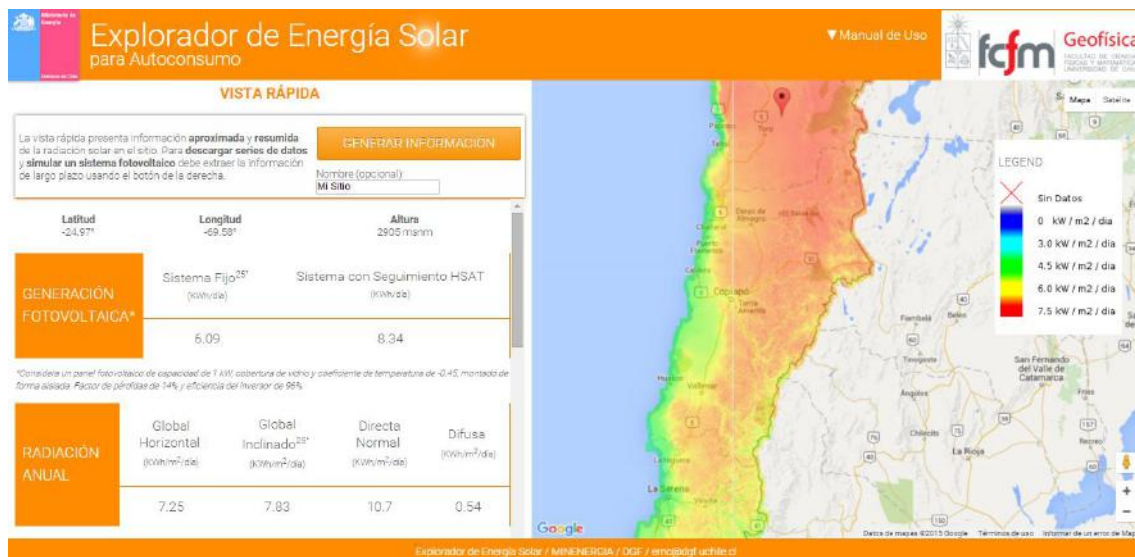
Hay distintos aspectos en la planificación de un sistema fotovoltaico que incidirán en la cantidad de energía que se generará.

Elección del sitio

El explorador solar le permite conocer la cantidad de radiación que se recibe en cualquier punto del país entre -17.5 y -55 grados de latitud. Con la ayuda del mapa puede localizar los sitios de su interés y así conocer en el largo plazo la evaluación del recurso solar.

El mapa que se despliega sobre Google Earth muestra el promedio anual de la radiación global horizontal total recibida en 24 horas. Está considerado en el cálculo de la radiación el efecto de las sombras debido a la topografía.

Al hacer un “click” sobre cualquier punto del mapa de radiación, aparecerá en la **VISTA RÁPIDA** un resumen de la radiación global horizontal y sus componentes directa y difusa a nivel anual y mensual, además, se muestra el promedio anual de la radiación global incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del punto, lo que permite tener una primera aproximación del recurso solar en el sitio de interés y poder comparar rápidamente con otros lugares.



Más abajo se muestra un gráfico con la elevación de la topografía circundante en los 360° alrededor del sitio seleccionado, junto al porcentaje de tiempo con sombras por efecto de la topografía en el sitio (figura 2).



Elevación del horizonte

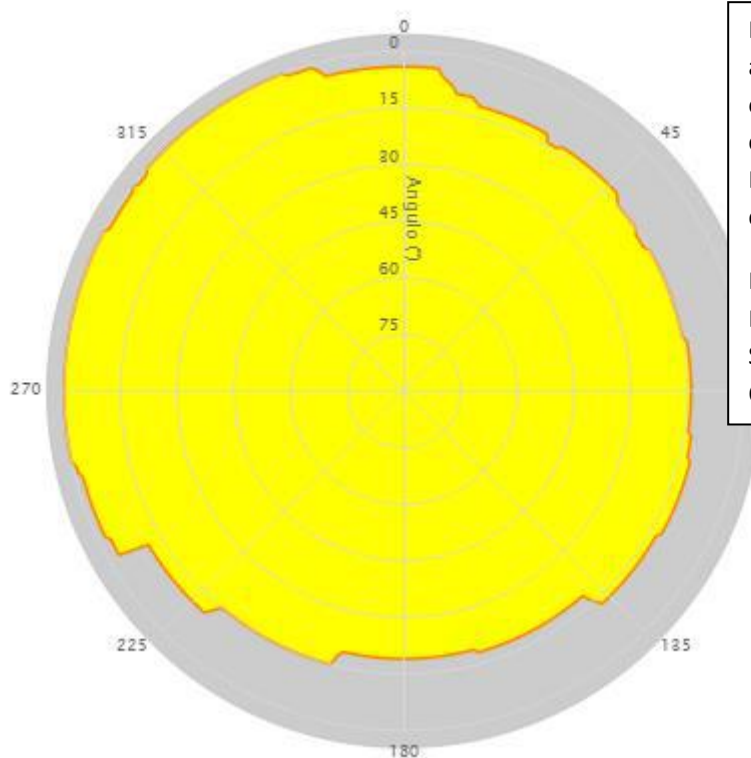


Figura 2: Esta figura muestra el ángulo sobre el horizonte del obstáculo topográfico más alto en cada dirección alrededor del sitio. Los puntos cardinales corresponden a:

Norte: 0°
Este: 90°
Sur: 180°
Oeste: 270°

Una vez que se ha escogido el sitio donde se instalará el sistema fotovoltaico, haciendo “click” en el botón **GENERAR INFORMACIÓN**, usted podrá acceder a las siguientes herramientas:

- Gráficos de la radiación incidente en un sistema fotovoltaico (global, directa y difusa), de la nubosidad y meteorología del sitio a nivel horario, mensual y año a año.
- Gráficos de la generación fotovoltaica en un arreglo fijo con inclinación igual a la latitud del sitio o en un arreglo configurado por el usuario.
- Podrá calcular la generación fotovoltaica en un arreglo fijo o con sistema de seguimiento, personalizando las características de sistema (tamaño, tipo de panel, pérdidas).
- Descargar un archivo de datos con la radiación y la generación fotovoltaica simulada a nivel horario para el período 2004 a 2014.

Configuración del sistema fotovoltaico

La cantidad de energía que generará un panel fotovoltaico dependerá, además de la radiación incidente en él, de las características técnicas de éste y de la posición en que será instalado. Existe una variedad de paneles fotovoltaicos en el mercado que se diferencian, entre otras cosas, por su eficiencia en transformar la radiación solar en electricidad.

CONFIGURAR SISTEMA FOTOVOLTAICO

Tamaño del Sistema

Capacidad Instalada:

Características de la Estructura

Tipo de Arreglo:

Tipo de Montaje:

Inclinación:

Azimut:

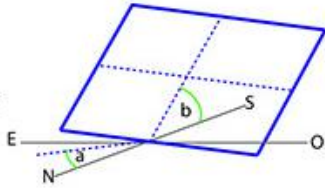
Características del Panel

Coefficiente de Temperatura: Cobertura:

Factor de Pérdidas: Eficiencia del Inversor:

Panel fijo

El panel fotovoltaico es instalado en una posición fija con una cierta inclinación (b) respecto del plano horizontal y el eje central de este plano se orienta con un cierto azimut (a) respecto del norte. El usuario debe ingresar los ángulos que definen la posición del panel. Por defecto el panel se orienta hacia el Norte (azimut=0°) con una inclinación igual al latitud geográfica del sitio. El botón "optimizar ángulos de instalación" calcula los ángulos que maximizan el rendimiento del panel para la localidad seleccionada.



El Explorador Solar entrega la opción de personalizar el cálculo de potencia generada por un sistema fotovoltaico. El usuario tiene la opción de ingresar el tamaño de su sistema, la sensibilidad del panel a la temperatura, la eficiencia del inversor de corriente y el factor de pérdidas.



Con el botón **PERSONALIZAR SISTEMA FOTOVOLTAICO** aparecerá una ventana donde se pueden ingresar las características del arreglo fotovoltaico que se desea instalar y calcular la cantidad de energía que generaría en el sitio escogido.

Tamaño del sistema

La cantidad de energía que se genera en condiciones estándar (1000 W/m^2 y 25°C) se denomina **capacidad del sistema** y corresponde la eficiencia nominal de la celda multiplicada por el área a cubrir con paneles. En el Explorador Solar está la opción de ingresar la capacidad total del sistema, si es que la conoce, o la eficiencia nominal y el área efectiva de instalación, para el cálculo de generación.

$$\text{Capacidad} = \text{Área instalada} \times \text{Eficiencia nominal}$$

$$\text{Capacidad} = \text{Área panel} \times \text{Número de paneles} \times \text{Eficiencia nominal}$$

Al planificar un sistema fotovoltaico se puede comenzar por calcular cual es la capacidad del sistema que se requiere de acuerdo al uso que se le dará y posteriormente buscar en el mercado los paneles que le permitan alcanzar esa capacidad. Si conoce la cantidad de energía que desea obtener a partir de su arreglo fotovoltaico, puede ingresar este valor como la capacidad del sistema. En este caso no es necesario conocer la eficiencia nominal o el área de instalación.

Si no conoce la capacidad del sistema que desea instalar puede calcularlo con el botón **Estimar Tamaño**. Al presionarlo aparecerá en la parte inferior de la ventana un recuadro donde puede ingresar el área que utilizará para instalar el arreglo, la fracción de esa área que efectivamente será ocupada con celdas fotovoltaicas y la eficiencia nominal de las celdas.

Puede estimar el área de instalación dibujando en el mapa un polígono sobre el lugar en que se instalarán los paneles.

Estimar tamaño del sistema fotovoltaico

Utiliza la herramienta



para dibujar un polígono en el mapa y definir el área disponible para la instalación PV

Área total disponible:

Fracción Utilizable:

Eficiencia módulos PV:





Las celdas fotovoltaicas, dependiendo del material y la tecnología utilizada en su fabricación, tendrán una eficiencia de conversión característica, que corresponde al porcentaje de la radiación solar incidente que se transformará en energía eléctrica. La mayoría de los paneles tienen una eficiencia nominal de entre un 10% y un 20%.

Se denomina eficiencia nominal a la eficiencia de la celda en condiciones estándar con radiación incidente de 1000 Watts por metro cuadrado y temperatura ambiente de 25°C (este valor permite comparar distintas tecnologías bajo las mismas condiciones).

La eficiencia del panel cambiará para otros valores de radiación incidente y temperatura, pero el Explorador Solar tiene incorporados los algoritmos para calcular la eficiencia de un panel en cualquier condición, a partir de la eficiencia nominal. La eficiencia nominal se puede encontrar en la ficha técnica de los paneles fotovoltaicos.

Características de la estructura

El panel solar puede ser instalado sobre una superficie existente o sobre una estructura construida para ese efecto. En el caso de instalarse un panel coplanar a una construcción como un techo o pared debe tenerse en cuenta que la poca ventilación por debajo del panel aumentará su temperatura y disminuirá su eficiencia, esto debe ser especificado en la opción **tipo de montaje**. La opción “**estructura aislada**” considera que la temperatura del aire por encima del panel es igual a la temperatura del aire por debajo del panel, en cambio, en el caso “**paralelo a techo**” se considera que la temperatura del aire bajo el panel será mayor a la temperatura ambiente debido a que la construcción alledaña le transferirá calor.

Los paneles pueden ser instalados en una estructura fija o sobre un sistema que se mueva a lo largo del día siguiendo la posición del sol. En cualquiera de los casos, la posición del panel en cualquier instante se describe con dos ángulos: la inclinación y el azimut (ver figura 3).

El **azimut** corresponde al ángulo respecto del norte en que está rotado el panel, este ángulo se mide desde el norte hacia el este, es decir:

Azimut (°)	Panel mira hacia el
0	Norte
90	Este
180	Sur
270	Oeste

La **inclinación** corresponde al ángulo de elevación que tiene el panel respecto de un plano horizontal, es decir, un panel con inclinación de 0° está instalado de forma horizontal y un panel con inclinación de 90° está en posición vertical.



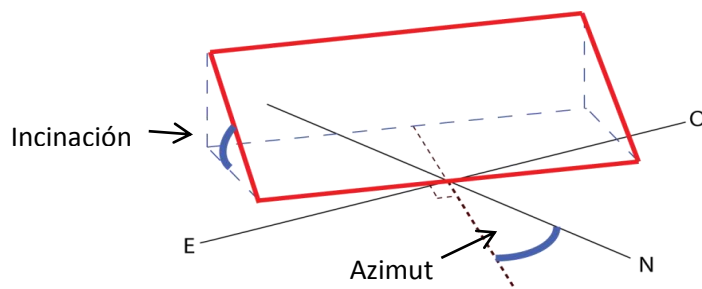


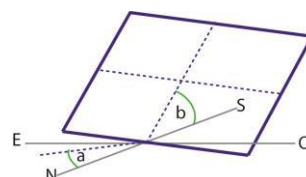
Figura 3: Esquema de un panel solar donde se señalan los ángulos de inclinación y azimut que definen su posición.

Si desea saber cómo medir el azimut y la inclinación de la superficie donde instalará los paneles fotovoltaicos puede utilizar las metodologías descritas en el **Anexo**.

A continuación se describen las distintas alternativas de **tipos de arreglos** que ofrece el Explorador Solar para simular la potencia generada:

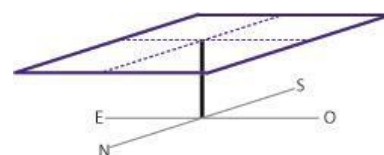
A. Panel fijo

El panel fotovoltaico es instalado en una posición fija con una cierta inclinación (a) respecto del plano horizontal y el eje central de este plano se orienta con un azimut b respecto del norte. El usuario debe ingresar los ángulos que definen la posición del panel.



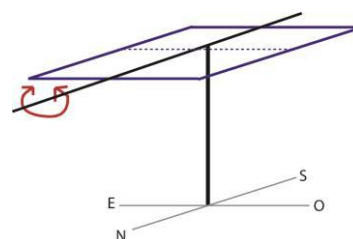
B. Panel fijo horizontal

Esta configuración es igual a la anterior, pero se considera que la inclinación del panel es cero, es decir el panel está perpendicular al radio de la tierra.



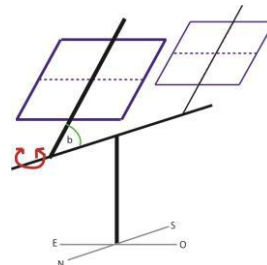
C. Panel horizontal con seguimiento en eje horizontal (HSAT)

En este caso, el panel fotovoltaico está instalado de forma solidaria a un eje horizontal orientado de norte a sur. Este eje rota de modo que el panel mira hacia el este cuando sale el sol y se va moviendo a lo largo del día para quedar mirando hacia el oeste a la hora de la puesta de sol. La inclinación es cero a medio día.

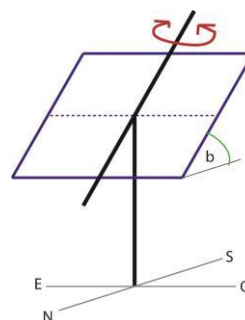


D. Panel inclinado con seguimiento en eje horizontal (HTSAT)

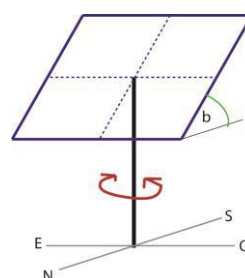
El panel es instalado con un ángulo de inclinación (b) respecto al eje de rotación. El eje del sistema de seguimiento es horizontal con orientación norte-sur y rota de modo que el eje central del panel mira hacia el este cuando sale el sol y se va moviendo a lo largo del día para quedar mirando hacia el oeste a la hora de la puesta de sol. En este caso, el usuario debe ingresar el ángulo de inclinación del eje del panel.

**E. Panel inclinado con seguimiento en eje inclinado (TSAT)**

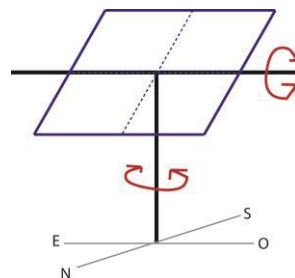
El panel se instala solidario al eje de rotación del sistema de seguimiento, el cual está orientado de norte a sur. El eje de rotación posee la misma inclinación (b) que el panel, respecto a la horizontal. El eje rota de este a oeste, siguiendo al sol. En este caso el usuario debe ingresar el ángulo de inclinación del eje del panel.

**F. Panel inclinado con seguimiento en eje vertical (VSAT)**

El panel se instala con una inclinación b escogida por el usuario, sobre un eje vertical, el cual rota de manera que el panel iguale al azimut solar. Esta configuración es particularmente útil en latitudes altas, pues permite seguir al sol en 360 grados.

**G. Panel con seguimiento en dos ejes**

En este caso el panel se instala sobre dos ejes perpendiculares entre sí. Uno vertical, que permite el movimiento azimutal del panel. Y uno horizontal, que permite cambiar la inclinación del panel. Con este sistema de seguimiento el panel siempre está perpendicular a los rayos directos del sol, por lo que se optimiza completamente la captación de radiación solar. La radiación directa recibida en el panel corresponde a la radiación directa normal.





Para la opción de instalación de un panel fijo inclinado existe una posición que maximiza la captación de radiación en el año. Con el botón **“Optimizar ángulos de instalación”** el Explorador Solar calculará los ángulos de azimut e inclinación óptimos en el sitio seleccionado.

Características del panel

Coeficiente de sensibilidad a la temperatura

Las celdas fotovoltaicas cambian su eficiencia dependiendo de su temperatura. Mientras menor es la temperatura de la celda mayor es su capacidad de producir energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos que existen actualmente poseen un amplio rango de sensibilidades a la temperatura, que van desde $-0.16 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $-0.68 \text{ }^\circ\text{C}$. Este valor se especifica en la ficha técnica de cada panel. El valor por defecto que considera el Explorador Solar es $-0.45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Este coeficiente indica que la potencia a generar disminuye (o aumenta) ese porcentaje, respecto a lo que se generaría a 25°C , por cada grado de temperatura de la celda por sobre (o bajo) los 25°C . Por ejemplo, si la celda está a 30°C y el coeficiente de temperatura es $-0.4\%/^\circ\text{C}$, la celda producirá un 2% menos de energía.

La temperatura de la celda tiene relación con la temperatura ambiente, pero también con la cantidad de radiación incidente, la velocidad del viento y las condiciones de ventilación del panel. Es por esto, que un mismo sistema generará más energía si se instala en una estructura aislada que sobre un techo.

Factor de pérdidas

Durante el funcionamiento de un sistema fotovoltaico, debido a distintas causas, se va perdiendo corriente eléctrica. Las pérdidas en promedio bordean un 14%. Este porcentaje de pérdida es utilizado en el Explorador Solar por defecto, pero el usuario puede ingresar otro porcentaje de pérdidas de acuerdo al uso que le vaya a dar al sistema.

Si desea calcular las pérdidas de su sistema, considere que el porcentaje total de las pérdidas por otras causas (PT) se calcula como

$$PT = 100 \cdot \left(1 - \prod \left(1 - \frac{p_i}{100}\right)\right)$$

donde p_i corresponde a los distintos porcentajes de pérdida.

Algunos valores de porcentajes de pérdida estándar son:





Suciedad acumulada sobre el panel	2%
Sombras del entorno (árboles, construcciones)	3%
Imperfecciones del panel, conexiones y cableado, otras causas técnicas	7%
Tiempo apagado por mantenciones	3%
Factor de pérdida total	14%

Cobertura

Dependiendo del material con que está hecha la cobertura superior del panel fotovoltaico, habrá pérdidas por la reflexión de la radiación en la superficie. Los paneles solares más comunes tienen una cobertura de **Vidrio**, al seleccionar esta opción, el explorador solar calculará la pérdida por reflexión, dependiendo del ángulo de incidencia del sol sobre el panel, para cada instante.

Sin embargo, existen paneles más sofisticados, cuya cobertura minimiza el efecto de la reflexión de la radiación en la superficie. Si usted instalará este tipo de paneles debe seleccionar la opción **Anti-Reflectante** para que el algoritmo de cálculo no considere este tipo de pérdidas.

Eficiencia del inversor

La corriente que generan los paneles fotovoltaicos es de tipo continua. Pero la electricidad que se utiliza en las casas es corriente de tipo alterna. Por lo tanto, se necesita un inversor de corriente conectado al sistema fotovoltaico para poder utilizar la energía generada. Al pasar la corriente por el inversor se genera una pérdida, que dependerá de la eficiencia del inversor y de la cantidad de corriente que se está transformando. Los inversores tienen una eficiencia nominal dentro de sus características técnicas, que indica el porcentaje de corriente que saldrá del inversor en su máxima capacidad.

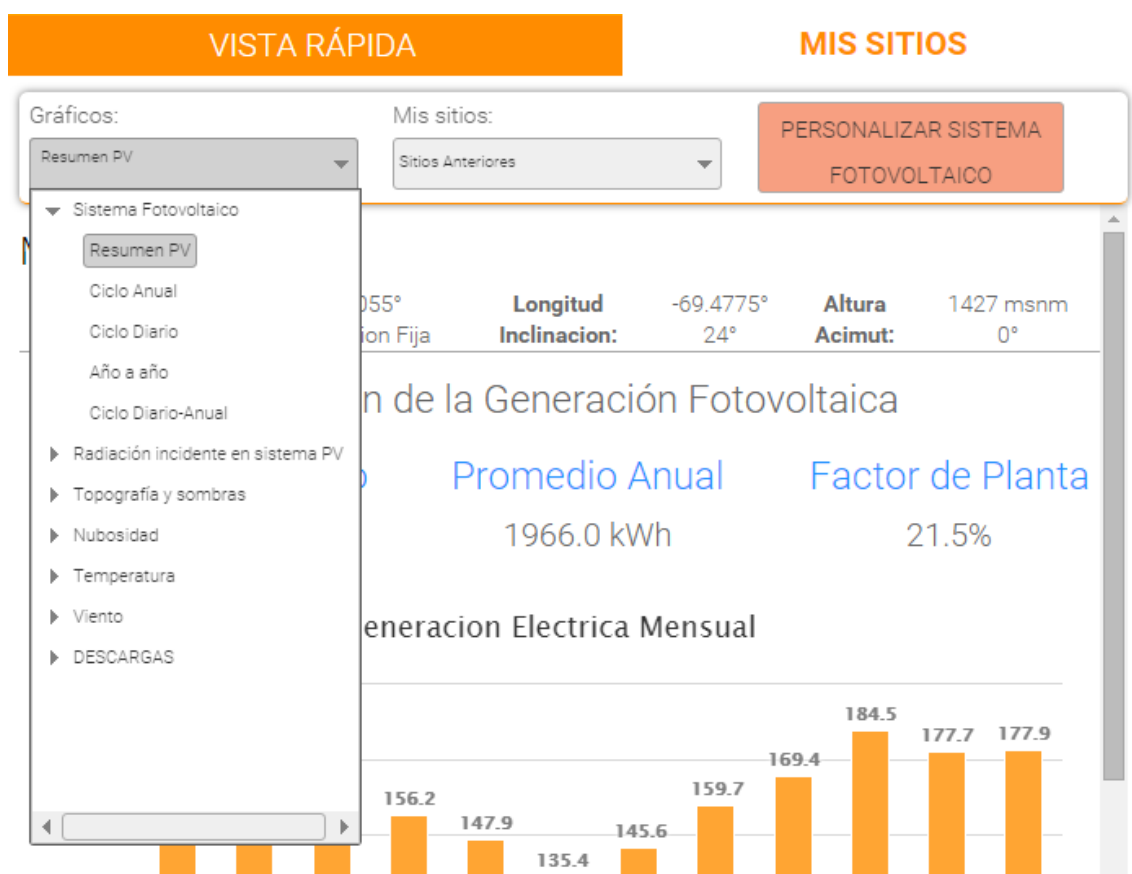
Para que el explorador solar pueda tomar en consideración esta pérdida de energía, es necesario que el usuario ingrese la eficiencia del inversor que planea utilizar (puede encontrar esta información en la ficha técnica del inversor). Si no conoce esta información se ocupará el valor estándar de 96%, que es un promedio de muchos inversores.





Visualización de los resultados

La información de los distintos sitios que vaya escogiendo durante su sesión se irá guardando en **Mis Sitios**, de modo que podrá ver nuevamente los gráficos de sitios anteriores y descargar las series de datos y reportes.



En la pestaña **Gráficos** encontrará una serie de opciones para visualizar en línea los resultados de la radiación incidente sobre el arreglo fotovoltaico escogido por el usuario, sobre la generación fotovoltaica, la meteorología del sitio (nubosidad, temperatura y viento) y la topografía del entorno (sombras).

Además, al final de las opciones encontrará un link de **DESCARGAS** para obtener las series horarias de radiación incidente en el panel (global, directa, difusa y reflejada por el suelo), la generación fotovoltaica, la temperatura, el viento, la nubosidad y las sombras. Existe la opción de generar un reporte que contiene las figuras y tablas con el resumen de los resultados, además de la información topográfica del sitio y las características del sistema fotovoltaico simulado en formato PDF o HTML.



Gráficos

Sistema fotovoltaico

En esta sección encontrará los resultados de la simulación de la generación fotovoltaica en un arreglo con las características definidas por el usuario en la sección **CONFIGURAR SISTEMA FOTOVOLTAICO**.

Si el usuario no ha personalizado su sistema, los resultados corresponden a un arreglo con las siguientes características:

Capacidad	1 kW
Tipo de arreglo	Fijo
Tipo de montaje	Aislado
Azimut	0
Inclinación	Latitud del sitio
Coeficiente de temperatura	-0.45 %/°C
Cobertura	Vidrio
Factor de pérdidas	14%
Eficiencia del inversor	96%

Tabla 1: Configuración por defecto para el cálculo de generación fotovoltaica en el Explorador Solar para Autoconsumo

En esta sección encontrará tablas y gráficos con los valores promedio de la simulación de la generación fotovoltaica para el sistema escogido. Los datos de radiación utilizados en la simulación corresponden a los resultados del Explorador Solar para el período 2004 a 2014, con resolución temporal a nivel horario e incluye efecto de las sombras por topografía. Se han usado datos de temperatura y viento provenientes de simulaciones con WRF en el sitio para calcular la eficiencia del panel.

Los gráficos disponibles para visualizar la información en línea son:

Ciclo Anual: promedio de la generación total en cada mes (ejemplo figura 4, panel A)

Ciclo Diario: promedio de la generación total en cada hora (ejemplo figura 4, panel B).

Año a año: generación total en cada año del período simulado (ejemplo figura 4, panel C).

Ciclo Diario-Anual: generación media para cada hora y cada mes (ejemplo figura 4, panel D).



Figura 4: Ejemplo de los Gráficos que se pueden encontrar en la sección Sistema Fotovoltaico. Panel A: Ciclo anual, Panel B: Ciclo diario, Panel C: Generación año a año, Panel D: Ciclo diario-anual.

Radiación incidente en sistema fotovoltaico

En esta sección se muestran los resultados de la radiación incidente en una superficie con la inclinación y azimut de acuerdo al **Tipo de Arreglo** escogido por el usuario. En el caso de los sistemas de seguimiento la posición de la superficie va cambiando a lo largo del día.

Se muestran los resultados de la radiación directa, difusa, difusa reflejada del suelo y la radiación global sobre el panel. Los resultados de la radiación corresponden a las simulaciones hechas con el Explorador Solar para el período 2004 a 2014, con resolución temporal a nivel horario. Los cálculos consideran el efecto de la nubosidad, de las sombras por topografía y correcciones en lugares con nieve. Para más detalle sobre el cálculo de radiación, ver el capítulo de Introducción.

Si se desea conocer la **radiación global horizontal** se debe configurar el sistema fotovoltaico con el **tipo de arreglo Fijo-Horizontal**. La radiación global mostrada en los gráficos corresponderá a la radiación global horizontal.



Si se desea conocer la **radiación directa normal** se debe configurar el sistema fotovoltaico con el **tipo de arreglo en Seguimiento 2 ejes**. Los resultados mostrados en los gráficos para la radiación directa corresponderán a la radiación directa normal.

Los gráficos disponibles para visualizar la información en línea son:

Ciclo Anual: promedio de la insolación diaria en cada mes por metro cuadrado. La insolación diaria es la integral de la radiación en 24 horas.

Ciclo Diario: promedio de la radiación instantánea en cada hora por metro cuadrado.

Año a año: promedio de la insolación diaria para cada año de simulación (2004 a 2014).

Ciclo Diario-Anual: promedio de la radiación instantánea para cada hora y mes. Se muestran los gráficos para la radiación global y para sus componentes directa y difusa.

Topografía y sombras

En esta sección se muestra el efecto de la topografía circundante en la radiación por efecto de las sombras.

Los gráficos disponibles para visualizar la información en línea son:

Elevación del horizonte: se muestra un gráfico con el ángulo de elevación de la topografía sobre el horizonte en los 360° alrededor del sitio. Los ángulos corresponden a los puntos cardinales, donde 0° es el norte, 90° el este, 180° el sur y 270° el oeste.

Ciclo anual: Se muestra el porcentaje de tiempo con sombras en cada mes. El tiempo con sombras no considera la noche.

Ciclo diario: Se muestra el porcentaje de tiempo con sombras en el sitio en cada hora.

Ciclo diario anual: Se muestra el porcentaje de tiempo con sombras en cada hora y mes.

Nubosidad

Se presentan los resultados de la frecuencia de nubosidad de acuerdo a los datos satelitales GOES EAST para el período 2004 a 2014. La frecuencia de nubosidad corresponde al porcentaje de tiempo con nubes en cada sitio y puede ser interpretado como la probabilidad de ocurrencia de nubosidad a una cierta hora o un cierto mes. En esta sección se pueden ver gráficos con la frecuencia de nubosidad mensual, el ciclo diario de la frecuencia de nubosidad y la frecuencia de nubosidad para cada hora y mes.



Temperatura y viento

Estas secciones muestran los resultados de temperatura y viento de un año de simulaciones con el modelo WRF para todo el territorio nacional, con resolución espacial de 1 kilómetro. Se muestran los ciclos anuales y diarios de la temperatura media y el promedio de la velocidad del viento, además de un gráfico combinado con los valores de estas variables para cada mes y hora del día.

DESCARGAS

Datos horarios

El usuario podrá descargar, para el sitio escogido en el mapa, los datos promedios horarios, entre el 1 de Enero de 2004 al 31 de Diciembre de 2015, de las variables listadas en la tabla 2, en formato CSV.

Si el usuario ha personalizado el cálculo de generación fotovoltaica, los datos de generación y de radiación incidente en panel, corresponderán a la configuración elegida. De lo contrario, se utilizará la simulación por defecto, con los parámetros descritos en la tabla 1.

Variable	Unidad	Descripción
pv	KWh	Generación fotovoltaica
Glb	W/m ²	Radiación global incidente en panel
Dir	W/m ²	Radiación directa incidente en panel
Dif	W/m ²	Radiación difusa incidente en panel
Sct	W/m ²	Radiación reflejada del suelo incidente en panel
Ghi	W/m ²	Radiación global horizontal
dirh	W/m ²	Radiación directa horizontal
Difh	W/m ²	Radiación difusa horizontal
Dni	W/m ²	Radiación directa normal
temp	Celsius	Temperatura ambiente (2m)
vel	m/s	Velocidad del viento en superficie (2m)
shadow	%	Porcentaje de la hora con sombras por topografía
cloud	%	Porcentaje de la hora con nubes

Tabla 2: Variables incluidas en el archive de descarga de datos del Explorador Solar para Autoconsumo

Datos año meteorológico típico

El usuario podrá descargar, para el sitio escogido en el mapa, los datos promedios horarios de un año meteorológico típico, en formato CSV, para las variables descritas en la tabla 2. Esto





corresponde a un año de datos construido con 12 meses de distintos años, representativos del régimen meteorológico del sitio.

Para elegir los meses representativos se utiliza una metodología similar a la propuesta por el *National Renewable Energy Laboratory* de Estados Unidos para la construcción de la base de datos TMY3¹.

La metodología consiste en que para cada mes, se calcula la función de distribución acumulada de cada año (cdf) y se escogen los tres años más similares a la función de distribución acumulada de todo el período de datos (cdf_{total}). Para esto se escogen los 3 años con el menor estadístico FS , donde

$$FS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |cdf(x) - cdf_{total}(x)|$$

que corresponde al promedio de los valores absolutos de las diferencias de las funciones de distribución acumulada del año con la total, para cada x usado en la construcción de las funciones.

Posteriormente se calculan la media y la mediana del mes para cada año, de los 3 mejores escogidos en el paso anterior, y se compara con la media y la mediana de ese mes en todo el período. El año seleccionado como el representativo para ese mes será el que posea el menor estadístico

$$FS2 = 0.5 * (|media_{año_i} - media_{total}|) + 0.5 * (|mediana_{año_i} - mediana_{total}|)$$

Informe consolidado

El usuario tiene la opción de descargar un reporte que contiene información sobre la topografía del sitio escogido, un resumen de las características meteorológicas del sitio, que incluye la radiación incidente, la temperatura, la velocidad del viento y la frecuencia de nubosidad. Además, el reporte incluye los resultados de la simulación de la generación del sistema fotovoltaico personalizado por el usuario (o con los valores por defecto).

Este informe incluye todas las tablas de resumen y gráficos que se pueden generar en el sitio web del Explorador Solar.

¹ Wilcox, Stephen, and William Marion. *Users manual for TMY3 data sets*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2008.

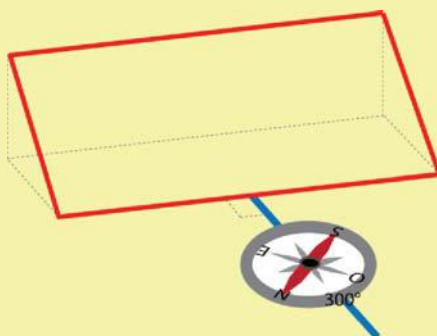
ANEXO

Medir el azimut y la inclinación

Si ya conoce la superficie donde quiere instalar el panel fotovoltaico, puede calcular cuál es el azimut y la inclinación de la siguiente manera:

Azimut

- 1- Se debe dibujar una línea que sea perpendicular a lado inferior de panel (o la superficie donde se instalará el panel).
- 2- Se pone una brújula sobre la línea dibujada, de modo que el centro de la brújula quede sobre la línea. Se orienta la brújula hacia el norte (la brújula debe estar horizontal y la flecha marcando el norte). La línea dibujada señalará en la brújula cuantos grados está desviada la superficie respecto al norte magnético.
- 3- Al ángulo que se obtiene en el paso anterior se le deben sumar 4° para corregir la diferencia entre el norte real y el magnético. El resultado es el azimut del panel.



Inclinación

- 1- Se debe apoyar un transportador (regla para medir ángulos) en la superficie donde irá apoyado el panel. Con el cero del transportador hacia abajo.
- 2- Se orienta un nivel, apoyándolo en el centro del transportador, de modo que la burbuja esté centrada. El ángulo que marca la base del nivel en el transportador es la inclinación. Si el transportador tiene el cero arriba, la inclinación será 180° menos el ángulo indicado por la base del nivel.

