

ARTÍCULO ORIGINAL

MAPA DE RADIACIÓN SOLAR EN LA REPUBLICA DEL PARAGUAY¹

MAP OF SOLAR RADIATION IN PARAGUAY¹

María Sol Benítez²

Genaro Coronel³

Jorge Armoa⁴

- 1 Trabajo presentado por la Facultad Politécnica y financiado con rubros del Rectorado de la Universidad Nacional de Asunción durante el año 2013.*
- 2 Investigadora principal. Técnico Superior en Meteorología y Electrónica. Docente Técnico de la Facultad Politécnica-UNA.*
- 3 Co- investigador. Master en Física. Profesor de la Facultad Politécnica-UNA.*
- 4 Co-investigador. Licenciado en Matemáticas. Profesor de la Facultad Politécnica-UNA*

RESUMEN

En este trabajo se presentan mediciones de radiación solar global de la red de estaciones meteorológicas automáticas de la Dirección de Meteorología registrados en el periodo 2006 a 2012, las mismas fueron comparadas con los valores del modelo de estimación global GL1.2 generados para los sitios de la Facultad Politécnica (FP-UNA), Pratts Gill, Mariscal Estigarribia, Pozo Colorado, Concepción, Aeropuerto Guaraní y Pilar. La comparación ha tenido como objetivo la verificación de los registros medidos, a fin de generar con los datos validados un mapa de radiación solar sobre nuestro territorio.

Los resultados de comparación con el modelo se ajustaron a los registros de radiación global en el periodo considerado. En los 12 meses, la correlación lineal arrojó valores de coeficientes R^2 alrededor de 0,9 y esto permitió concluir que los registros evaluados son correctos. Finalmente, podemos concluir que los valores de radiación solar global media en el territorio paraguayo varía entre valores extremos de 110 a 292 W/m².

PALABRAS CLAVE: Mapa, Radiación solar, Paraguay.

ABSTRACT

This paper presents measurements of global solar radiation of the Dirección de Meteorología e Hidrología's automatic weather stations network, reported in the period 2006 to 2012, they were compared with the values

of the overall estimation model GL1.2 generated for sites Facultad Politécnica (FP-UNA), Pratts Gill, Mariscal Estigarribia, Pozo Colorado, Concepción, Guarani Airport and Pilar. The comparison has been aimed at verifying the measured records, to generate the data validated a map of solar radiation on our territory.

The results of comparison with the model were adjusted to records of global radiation in the period considered. In the 12 months, the linear correlation showed values of coefficients R^2 around 0.9 and this has allowed us to conclude that evaluated records are correct. Finally, we conclude that the values of average Paraguayan territory varies between extreme values of 110-292 W/m².

KEY WORDS: Map, Solar radiation, Paraguay.

INTRODUCCIÓN

La medición de la radiación solar global, es de mucho interés en varios ámbitos no solamente en el área medio ambiental, salud, agricultura, sino además en el área de ingeniería de las construcciones, arquitectura entre otros. La precisión y validación de los datos es requisito necesario para mejorar los resultados de los proyectos que se quieren realizar relacionados a él.

Normalmente para entender el comportamiento de la radiación solar, se hace referencia a los valores de sus longitudes de onda. Los conceptos básicos de la radiación mencionan que

es una transferencia de energía por ondas electromagnéticas, y se produce directamente desde la fuente que es el sol hacia afuera en todas las direcciones.

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir varios tipos de radiación:

Radiación directa (R_D). Es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección.

Radiación difusa (R_d). Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, se denomina *difusa*, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino también por las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que *ven* toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no *ven* ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. (http://www.ecured.cu/index.php/Radiación_solar)

Radiación global (R_g). Es la suma de la radiación directa y la difusa. Se expresa por:

$$R_g = R_D + R_d \quad (1)$$

La energía recibida en el globo terrestre, desde la fuente principal “el sol”, tiene una referencia fundamental para cualquier cálculo y estimación que se desea realizar en la superficie terrestre, y esta es la “Constante Solar”.

La constante solar normalmente indicado por la sigla G_{sc} , es una cantidad de energía que llega desde el sol hasta la superficie terrestre, medida sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. También se la conoce como “la radiación solar en el límite de la atmósfera”, el valor de la constante solar fue obtenido a través de mediciones por satélites y fue normalizado por el World Radiometric Reference-WRR. Así el valor promedio que normalmente se utiliza es $G_{sc}=1367 \text{ w/m}^2$. (IQBAL, M. 1893. An Introduction to Solar Radiation.)

Las cuatro estaciones del año, son el producto de la cantidad de energía que llega hasta la tierra. La radiación solar que llega varía de acuerdo a la latitud, geometría del lugar, condiciones atmosféricas, así como también debido a la rotación y traslación de la tierra. De esta manera, los cambios estacionales incidirán en la medición de un instrumento de radiación solar, según sea la calidad del instrumento.

La Dirección de Meteorología e Hidrología cuenta con mediciones de radiación global mediante una red de estaciones meteorológicas automáticas que fueron instaladas entre los años 2002 y 2003, pero solamente más adelante se logró finalizar configuraciones para obtener valores correctos de radiación solar global y neta. De esta manera la mencionada red cuenta con sensores de radiación global y neta, cuyos registros datan desde el año 2006 pero no de manera continua, por ello se utilizó también datos estimados por satélites para completar la serie temporal de los datos faltantes medidos.

Para tener una buena distribución espacial sobre el territorio paraguayo se instalaron 15 estaciones meteorológicas automáticas con instrumentos de medición de radiación global, de las cuales en este trabajo se utilizaron datos de 14 estaciones, las ubicadas en el Aeropuerto Silvio Petrossi, Facultad Politécnica, Aeropuerto Guaraní, Salto del Guaira, Concepción, Encarnación, Pilar, Villarrica, Pedro Juan Caballero, Mariscal Estigarribia, Pozo Colorado, Gral. Bruguez, Pratts Gill. Pero no todas ellas se encuentran con registros completos. El periodo de datos utilizados en este trabajo va del 2006 al 2012.

El tipo de sensor de radiación solar de la red de estaciones automáticas de la Dirección de Meteorología e Hidrología es un “albedómetro”, Marca: Kipp&Zone, Modelo CM7B, Rango espectral 305 a 2800 nm; Ángulo de visión: 180°, Sensibilidad 9-15 (μVWm^2).

La conexión eléctrica de los sensores de radiación solar de las estaciones meteorológicas automática de la mencionada red, están dispuestas para la medición de la radiación global y no el albedo terrestre.

Como producto de este trabajo se pretende contar con mapa de distribución de la radiación solar global media por mes y anual sobre la el territorio paraguayo con datos medidos en plataformas automáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo utilizó la metodología de Benítez (2011), mencionada en el documento *Comportamiento de la radiación solar global de la estación meteorológica automática de la Facultad Politécnica*.

El proceso de visualización, organización y corrección de los datos medidos de la red de estaciones meteorológicas automáticas, se efectúan haciendo uso de un programa de tratamiento de datos denominado Hydras3, cuya plataforma utiliza el sistema operativo Windows. El software permite organizar los datos medidos por los diferentes sensores, exponerlos en forma numérica y gráfica en distintos periodos de tiempo (horas, días mes, año), permitiendo al usuario una rápida inspección visual así como los cálculos de extremos, medias, entre otros.

Con el objeto de contar con alguna herramienta sencilla para corroborar la validez de los datos medidos de radiación global de las distintas esta-

ciones meteorológicas automáticas, fueron utilizados los datos facilitados por el Dr. Juan Ceballos del CPTEC; quien es reconocido autor de varias publicaciones con datos estimados de radiación solar global obtenidos desde satélites; siendo éste el que desarrolló e impulsó el uso del modelo GL de manera operativa en CPTEC y desde donde iniciaron a poner a disposición a los demás servicios meteorológicos mapas de radiación solar global estimados sobre el área de Sudamérica. Luego, la metodología de Ceballos fue aprobada por la Organización Meteorológica Mundial y recomendaron el uso del modelo GL.

La metodología que se utiliza para la evaluación de la radiación solar a partir de los satélites meteorológicos geostacionarios, se basa en la estimación de la radiación solar (en todo su espectro) a partir de la información del radiómetro del satélite en cuestión, que tiene un ancho de banda característico, uno de ellos es el GL.

El GL (para radiación solar Global) es un modelo físico. La primera versión fue desarrollada en la Universidad Federal de Paraíba para imágenes del canal VIS de Meteosat 4 (Ceballos y Moura 1997), y adaptada para el canal VIS del GOES por investigadores de DMS/INPE y UFPb (Bastos et al. 1996). Esa versión preliminar fue instalada en CPTEC con algunas modificaciones, y su versión 1.2 ofrece distribuciones diarias, semanales y mensuales de irradiación solar global. Se detalla paso a paso los procedimientos que se hicieron para luego entrar en detalles a la metodología utilizada.

- Previamente, se representó gráficamente la serie de datos temporales disponibles en el periodo 2006 a 2012 para una inspección visual, luego se determinaron los valores máximos medidos para compararlos con la constante solar.
- Posteriormente se delimitaron y rechazaron los valores negativos medidos.
- Luego son calculados los valores medios diarios, mensuales y anuales.
- Una vez obtenidos estos valores, los mismos son comparadas con los valores medios mensuales estimados por el modelo a fin de determinar el coeficiente de correlación lineal de Pearson para cada estación.

El detalle de la metodología aplicada es la siguiente:

Haciendo uso del programa de tratamiento de datos Hydras3, primero se ha detectado visualmente la serie de datos disponibles en la red de mediciones de radiación solar global en el periodo de tiempo considerado así como también determinar los valores máximos ocurridos durante el periodo 2006 a 2012. Esta serie de datos comprende los datos medidos instantáneamente.

También en esta primera apreciación se observa la curva del comportamiento de las mediciones de radiación solar global en las cuatro épocas del año.

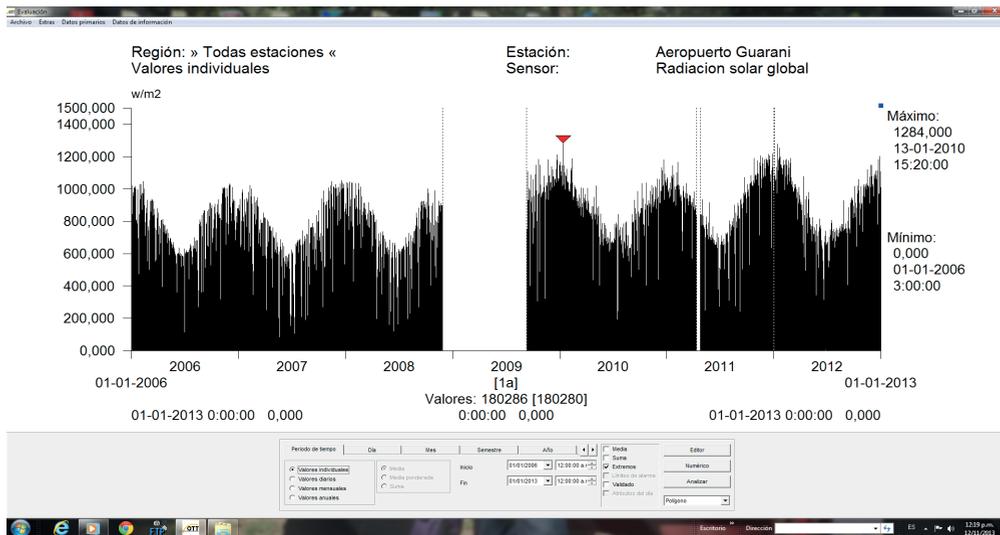
A modo de ejemplo en el gráfico 1 se observan que hay datos faltantes en los años 2009. Estos faltantes de da-

tos se repite en las demás estaciones, sin embargo se observa la curva del comportamiento de la radiación solar.

Así mismo con la ayuda del programa Hydras 3, se obtuvieron los valores máximos, por cada estación de ma-

nera a establecer si el instrumento de radiación solar se encuentra midiendo dentro de un rango máximo permitido de valores. Según las recomendaciones de la “Baseline Surface Radiation Network” (BSRN) entidad estándar de referencia en los procedimientos

Gráfico 1. Datos disponibles de la estación de Aeropuerto Guarani.



de control de calidad de los datos medidos en el área meteorológica, y patrocinada por la Organización Meteorológica Mundial, en uno de los procedimientos de control, menciona relacionar el valor máximo obtenido de la serie a ser analizada con la constante solar. El valor medido de radiación solar global en superficie no puede superar el valor de la constante solar. Para relacionar el valor de la constante solar con los datos medidos de radiación solar global en superficie, se ha seleccionado el valor máximo medido en cada estación meteorológica en el periodo 2006 a 2012. Los datos máximos por estación se observan en la tabla 2.

Para obtener los valores medios diarios y luego los mensuales, inicialmente se ha corregido los datos medidos en el periodo de 00:00 hs a 24:00 hs, donde se observó que durante la noche, el sensor de radiación solar arrojaba un valor negativo que no sobrepasaba de -8 W/m^2 . Sin embargo este valor incidía en el resultado de valor medio diario y por consiguiente en la media mensual.

La corrección se realizó de la siguiente manera: a través de un algoritmo sencillo, se examinó de manera automática cada medida arrojada por el sensor de radiación global, si este era mayor o igual a cero se aceptaba

el valor como correcto y si este valor era menor a cero el valor de radiación solar global era modificada al valor “CERO”.

El valor negativo arrojado por el sensor de radiación solar global, es debido a que el piranómetro en el fondo es un sensor electrónico que responde a una diferencia de potencial producto de la respuesta de las radiaciones recibidas sobre él. Durante el ciclo nocturno, teniendo en cuenta que la energía proveniente del sol es nula, hay un remanente pequeño de la radiación emitida por la superficie terrestre a medida que sufre enfriamiento, esa diferencia genera un valor negativo de energía sobre el instrumento arrojando valores negativos de lectura.

Para calcular el valor medio diario de la radiación solar global, se tomaron en cuenta todos los valores medidos con radiación mayor a cero, en el periodo de 00:00 a 24:00.

Sea:

G_{0t} la radiación solar global medida sobre un plano horizontal en w/m^2

G_{0m} la radiación solar media diaria sobre un plano horizontal en w/m^2

G_{dm} la radiación solar media mensual sobre un plano horizontal en w/m^2

n cantidad de datos medidos en el periodo 00 hasta las 24

m cantidad de datos medios diarios por mes

$$G_{0m} = \frac{\sum_{t=0}^{24} G_{0t}}{n} \quad (7)$$

$$G_{dm} = \frac{\sum G_{0m}}{m} \quad (8)$$

A partir del cálculo de la media diaria, obuvimos la radiación media mensual y la media anual. La menor cantidad de radiación se deberá medir en los periodos de invierno y las mayores cantidades en la época del verano.

Teniendo en cuenta que las series temporales no están completas en la mayoría de las estaciones se ha decidido trabajar con el periodo más completo de un solo año, por cada estación de manera a evaluar el comportamiento de radiación solar global media mensual, durante el invierno y el verano.

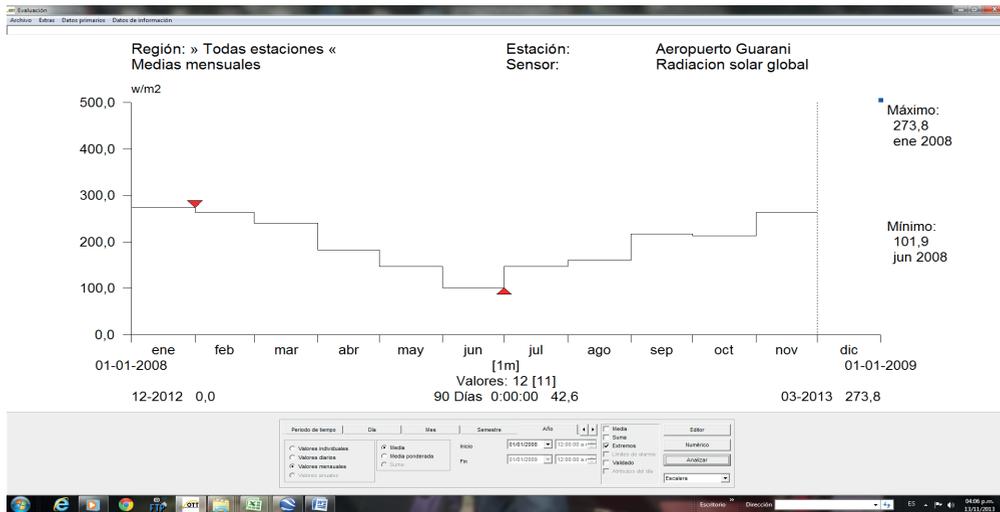
En el gráfico 2 se observa el comportamiento de la radiación solar media mensual del año 2008, en la estación del Aeropuerto Guaraní.

La radiación global debería disminuir en los periodos junio-julio, y los valores más altos se deberían obtener en diciembre-enero y esto debería ser el comportamiento en todas las estaciones analizadas en este trabajo.

La estimación de radiación solar global para la región de Sudamérica es generada diariamente por el “Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos”- CPTEC de Brasil, y puesto a disposición en la página web en formato de imagen. El modelo utilizado es el GL1.2, por lo que hemos peticionado a ese centro una corrida especial en modo numérico, para el periodo estudiado.

La corrida generada por el CPTEC fue para el periodo del 2008 al 2011 para las estaciones ubicadas en la Facultad Politécnica (FP-UNA), Pratts Gill, Mariscal

Gráfico 2. Datos medios mensuales de la estación de Aeropuerto Guarani.



Estigarribia, Pozo Colorado, Concepción, Aeropuerto Guarani y Pilar. Los datos estimados generados por el modelo GL1.2, fueron la estimación de radiación global media diaria y por lo que a través de estos datos estimados de datos medios diarios se calcularon los datos medios mensuales y respectivamente los anuales.

Para evaluar las dos variables, que en este caso son los datos medidos y los estimados por el GL1.2, se partió de la suposición de una aproximación entre ambos valores, medidos y estimados; para ello se utilizó el Diagrama de Dispersión, por ser una herramienta sumamente útil y sencilla para comprobar, aceptar y validar o rechazar la supuesta relación entre las dos variables. Estas comparaciones se realizaron en un periodo de un año con datos medidos completos y fueron realizadas en las estaciones de Facultad Politécnica (FP-UNA), Pratts Gill, Mariscal Estigarribia, Pozo Colorado, Concepción, Aeropuerto Guarani y Pilar.

A través del uso de una planilla EXCEL, se han efectuado las gráficas de dispersión, con el uso del cálculo de líneas de tendencia lineal y valor del coeficiente de determinación R^2 . Este coeficiente indica qué porcentaje de ajuste se ha conseguido con la tendencia lineal y su valor es igual al coeficiente de correlación lineal de Pearson r .

$$R^2 = r^2 \tag{9}$$

El resultado de los gráficos se observan en el Anexo N° 4.

Cuanto más se acerca el valor de R a “1”, mayor es el grado de correlación existente entre las variables comparables.

En la siguiente tabla se aprecia la clasificación del grado de correlación R^2 .

Correlación	Valor o rango
Perfecta	$ R =1$
Excelente	$0,9 \leq R < 1$
Buena	$0,8 \leq R < 0,9$

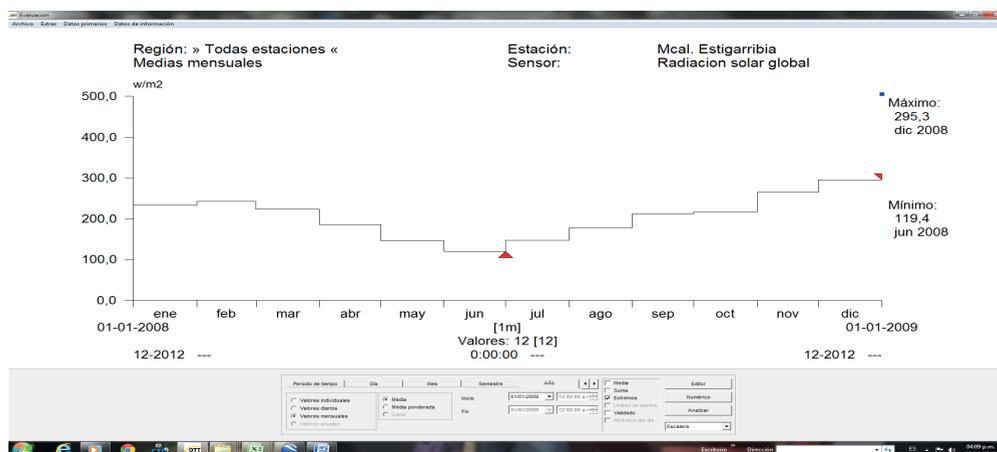
Mapa de Radiación Solar en la República del Paraguay

Regular	$0,5 \leq R < 0,8$
Mala	$ R < 0,5$

Una vez validado los datos se confeccionaron las tablas con los valores medios mensuales en el periodo 2006 a 2012, y se ha completado la serie faltante con los datos medios estimados de radiación solar global. Para obtener los promedios mensuales finales se tuvieron en cuenta los cálculos desde el año 2006 al 2012 por cada estación, y finalmente se calculó un promedio anual por cada estación.

Con los valores promedios mensuales y anuales geo-referenciados en grados decimales, por latitud y longitud se confeccionaron los mapas de radiación solar global para los doce meses y el anual, en la unidad de W/m^2 . En este trabajo, fue de interés cuantificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables, una de ellas estimada por un modelo y la otra medida por un instrumento, donde este último no cuenta con un patrón de referencia, pero que si cuenta con el aval de la instalación bajo las normas requeridas

Gráfico 3. Datos medios mensuales de la estación de Mariscal Estigarribia



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfico 4. Datos medios mensuales de la estación de Silvio Petrossi.

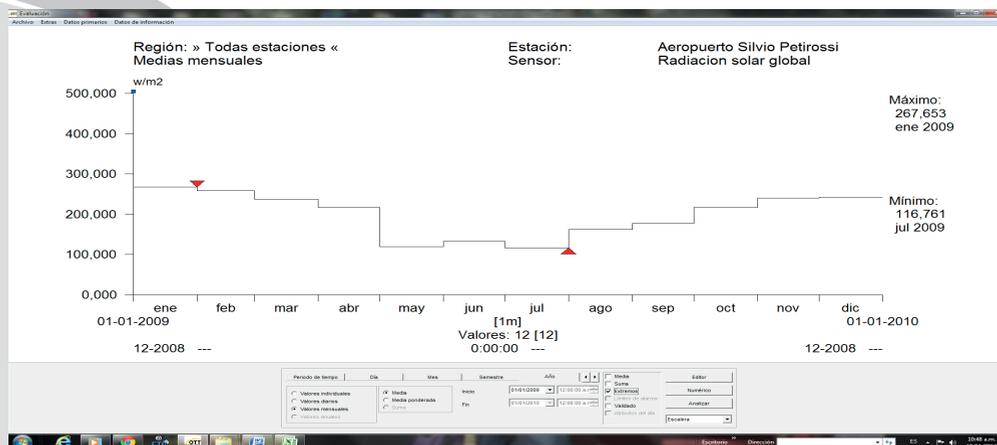


Gráfico 5. Datos medios mensuales de la estación de Concepción.

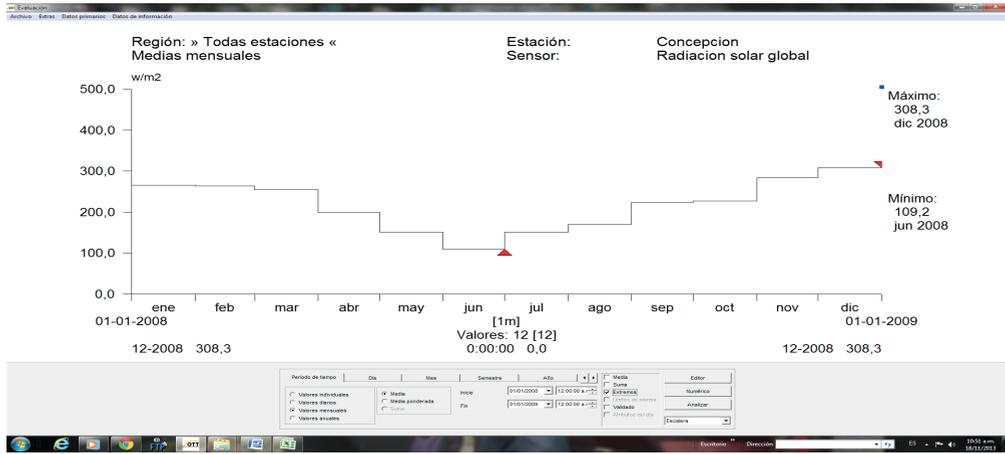
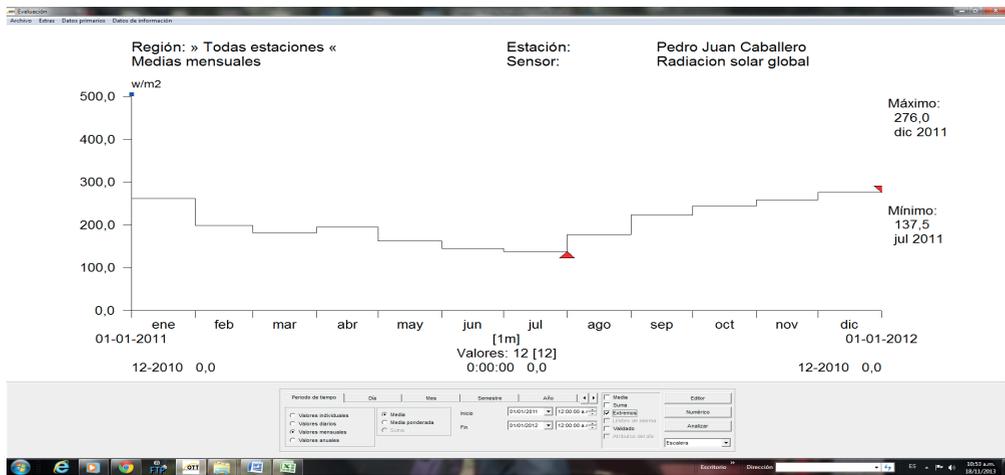


Gráfico 6. Datos medios mensuales de la estación de Pedro Juan Caballero.



Dirección de Meteorología e Hidrología
Red de estaciones meteorológicas automáticas con medición de radiación global

Tabla 1. Radiación solar global máximo en el periodo 2006 a 2012 por estación.

Estación	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud	Rg max.
			mts	w/m2
Aerop. Guaraní	25° 27' 21,02"	54° 50' 20,21"	247	1284
Aerop. Silvio Petrossi	25° 14' 09,99"	57° 30' 53,08"	83	1293
Concepción	23° 26' 29,51"	57° 25' 48,67"	75	1307
Encarnación	27° 18' 16,15"	55° 53' 55,67"	90	1240
Mcal. Estigarribia	22° 01' 49,94"	60° 37' 08,26"	167	1268
Pedro J. Caballero	22° 38' 25,00"	55° 49' 57,81"	563	1077
Pilar	26° 52' 52,46"	58° 19' 06,18"	58	1326
FP-UNA	25° 20' 11,44"	57° 31' 17,05"	131	1258
Pozo Colorado	23° 29' 51,84"	58° 47' 25,31"	98	1257
Salto del Guairá	24° 01' 57,27"	54° 21' 13,81"	297	1011
Villarrica	25° 45' 14,85"	56° 26' 16,46"	163	1318
Gral. Bruguez	24° 44' 30,04"	58° 50' 09,93"	89	1057
Pratts Gill	22° 33' 30,33"	61° 33' 36,40"	206	1089
Vallemí	22° 09' 37,72"	57° 56' 33,68"	81	1041

Fuente: DMH

Tabla 2. Datos estimados por el modelo GL 1.2 para la estación FPUNA (Facultad Politécnica).

FP-UNA	Radiación solar global media mensual estimada. W/m2			
	Año			
	2008	2009	2010	2011
ENE	246,6	234,6	254,6	298,6
FEB	217,7	252,7	252,9	208,9
MAR	245,6	229,8	245,8	229,3
ABR	180,3	219,1	186,8	186,2
MAY	149,8	119,6	125,0	159,1
JUN	87,8	140,5	120,6	121,9
JUL	138,2	101,4	128,9	139,7
AGO	149,2	160,0	189,3	178,8
SEP	205,9	165,6	196,5	223,9
OCT	228,6	210,5	234,2	259,9
NOV	285,8	247,6	291,3	279,4
DIC	290,5	230,8	273,7	289,5

Tabla 3. Datos estimados por el modelo GL 1.2 para la estación de Pratts Gill.

Pratts Gill	Radiación solar global media mensual estimada. W/m ²			
	Año			
	2008	2009	2010	2011
ENE	221,6	293,6	213,4	281,8
FEB	202,3	236,9	246,1	230,8
MAR	210,8	225,2	243,0	206,7
ABR	182,5	204,1	174,9	161,6
MAY	136,9	126,5	139,8	164,8
JUN	120,6	150,2	115,8	124,6
JUL	159,8	111,9	152,9	137,0
AGO	192,7	208,3	200,5	214,5
SEP	229,1	199,4	214,0	244,8
OCT	223,0	223,2	244,6	262,9
NOV	277,7	266,5	297,0	304,2
DIC	284,7	202,6	281,6	293,3

Tabla 4. Datos estimados por el modelo GL 1.2 para la estación de Mcal. Estigarribia.

Mcal. Estigarribia	Radiación solar global media mensual estimada. W/m ²			
	Año			
	2008	2009	2010	2011
ENE	208,4	266,1	222,3	292,7
FEB	211,7	235,5	250,5	234,6
MAR	214,7	211,2	226,7	230,1
ABR	175,0	205,3	173,8	174,9
MAY	144,4	136,9	145,0	178,6
JUN	116,1	135,9	124,3	132,6
JUL	153,6	117,5	144,3	139,6
AGO	181,4	191,4	204,6	202,8
SEP	214,4	176,5	209,6	242,6
OCT	208,4	198,7	247,1	260,7
NOV	247,6	269,8	302,8	305,8
DIC	279,8	215,2	286,1	281,1

Gráfico 7. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación FP-UNA.

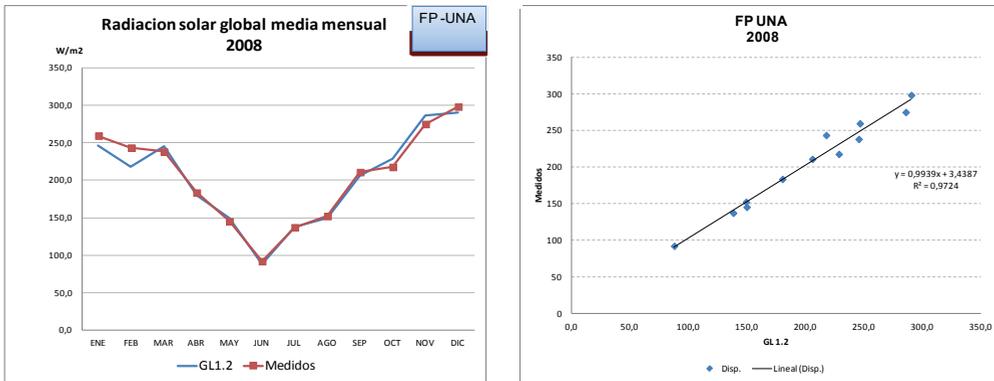


Gráfico 8. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación Pratts Gill.

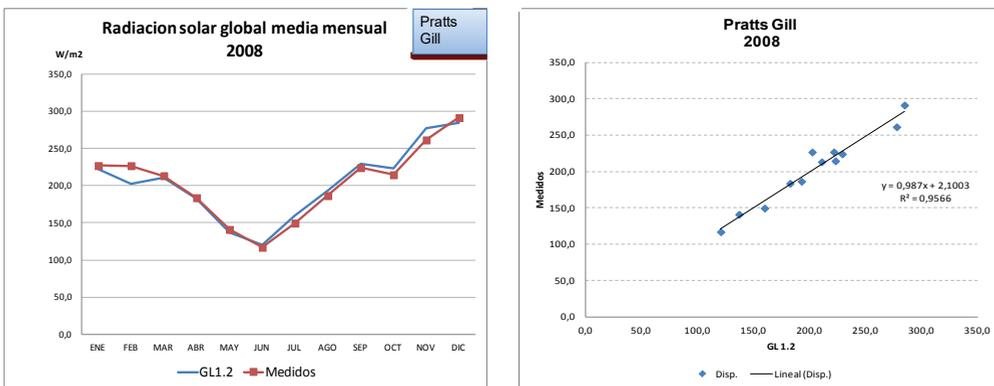


Gráfico 9. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación Mcal. Estigarribia.

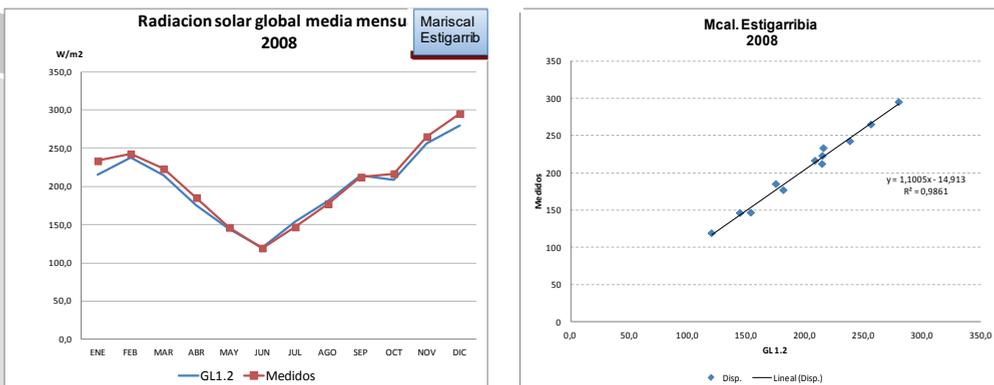


Gráfico 10. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación Pozo Colorado.

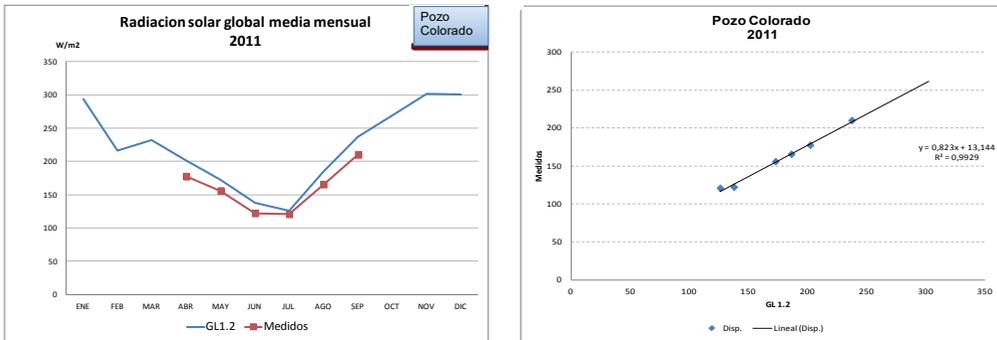


Gráfico 11. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación Concepción.

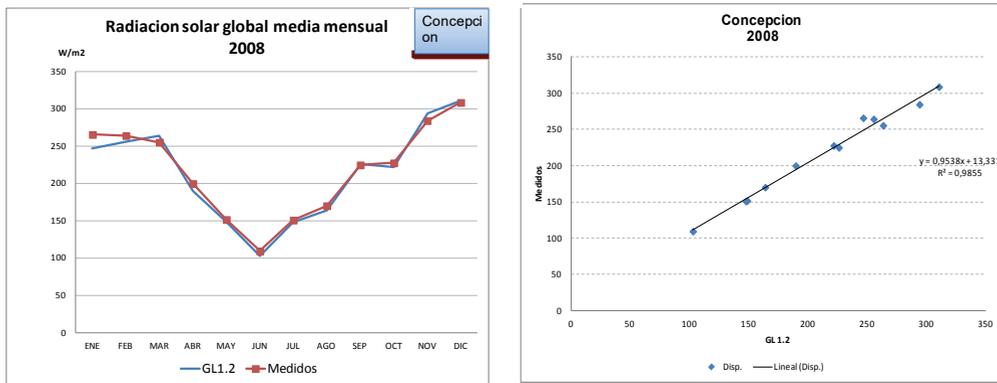


Gráfico 12. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación Aeropuerto Guaraní.

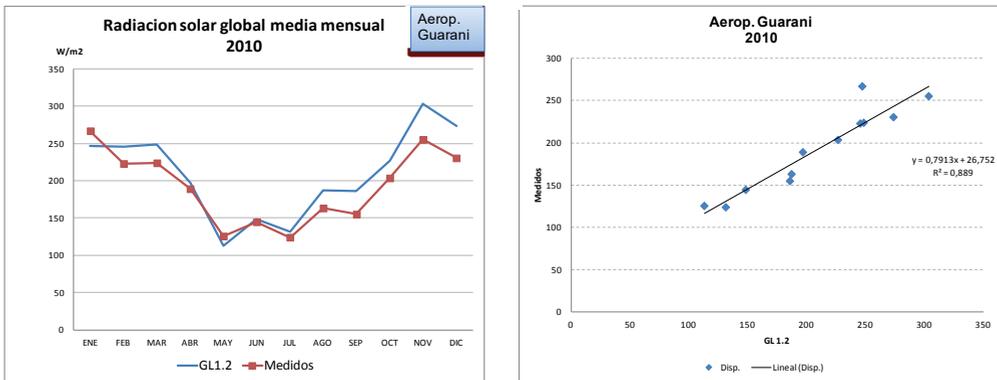


Gráfico 13. Comparaciones entre los datos medidos y estimados por el modelo GL 1.2 de la estación Pilar.

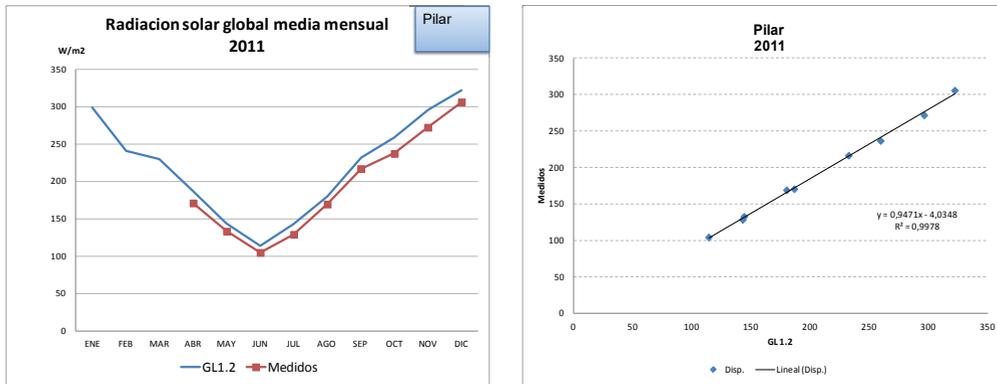


Tabla 5. Radiación solar global media mensual en W/m² durante el periodo 2006 a 2012.

Radiación solar global media en el periodo 2006-2012-W/m ²															
Latitud (S)	Longitud (O)	Estaciones	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
25° 20' 11,44"	57° 31' 17,05"	FP-UNA	264,2	231,2	213,0	169,4	137,3	112,9	124,3	152,3	183,4	219,2	259,1	266,2	194,4
22° 33' 30,33"	61° 33' 36,40"	Pratts Gill	263,6	226,7	219,2	170,4	150,3	138,4	151,5	192,5	212,8	231,0	273,9	267,8	208,2
22° 01' 49,94"	60° 37' 08,26"	Mcal Estigarribia	272,9	254,0	228,6	184,3	153,6	127,3	141,1	179,6	202,5	225,7	278,1	264,3	209,3
23° 29' 51,84"	58° 47' 25,31"	Pozo Colorado	273,2	249,2	237,3	187,9	149,7	127,2	131,8	165,7	192,9	228,3	280,6	278,5	208,5
23° 26' 29,51"	57° 25' 48,67"	Concepcion	281,2	252,1	248,4	197,5	149,6	132,3	128,0	173,3	201,9	232,6	272,7	273,0	212,7
25° 27' 21,02"	54° 50' 20,21"	Aerop. Guarani	268,3	238,4	229,0	187,1	149,3	125,5	128,6	161,5	195,9	213,6	253,7	270,5	201,8
26° 52' 52,46"	58° 19' 06,18"	Pilar	282,8	258,1	235,0	177,0	144,5	110,0	131,5	164,0	192,4	248,8	276,1	291,9	209,3

por la Organización de Meteorología e Hidrología a través de la Dirección de Meteorología e Hidrología.

Los valores de medidas que arrojaron los instrumentos se enmarcaron dentro del comportamiento que deben efectuar durante las distintas épocas del año y no se encontraron valores extremos fuera del valor nominal en relación a la constante solar.

Al seleccionar el periodo de un año por sitio de medición, fue con el fin de tener en cuenta la mayor cantidad de datos medidos por cada estación y se comprobó que la radiación solar disminuye en los meses de junio y julio. Y este comportamiento se repitió

para las demás estaciones ubicadas en la región Oriental y Occidental, como era de esperarse.

En el caso de los resultados de la correlación existente del modelo GL1.2 y los registros medidos durante el periodo estudiado, el primero se ajustó a las mediciones registradas por las estaciones de la Facultad Politécnica (FP-UNA), Pratts Gill, Mariscal Estigarribia, Pozo Colorado, Concepción, Aeropuerto Guarani y Pilar. Los coeficientes de correlación dieron valores alrededor de 0,9 para todas las variables estudiadas lo cual se considera una muy buena correlación, por lo que no requirió cálculos de coeficientes de corrección para ajustar los valores medidos.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se decidió complementar la serie de datos medios mensuales con los datos medios mensuales obtenidos por el modelo GL 1.2. Con ello el periodo calculado para obtener los medios mensuales fue desde el año 2006 al 2012, y no en el periodo de los datos estimados que fue desde el 2008 al 2011.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, presentamos valores medios y extremos del parámetro estudiado para los puntos donde han sido obtenidos los datos de radiación.

El requerimiento de un valor representativo de la cantidad de energía solar que llega en una determinada área, puede llegar a ser muy beneficioso para cualquier proyecto a la hora de realizar los ajustes necesarios a fin de mejorar sus resultados.

Con la metodología de analizar los datos y su posterior comparación con el modelo GL 1.2, que es un método aprobada por los organismos que rigen las normativas de mediciones de los diferentes parámetros de la atmósfera como lo es la Organización Meteorológica Mundial; debido a que utiliza datos de satélites y estima idealmente cualquier elemento componente de la atmósfera lo cual aproxima bastante el comportamiento dinámico de la atmósfera generado por los procesos químicos y además conllevan varias consideraciones complejas de la matemática y la física, se ha buscado obtener una referencia del comportamiento ideal de la radiación

y un punto de referencia para contrastar los valores analizados de la red de mediciones de radiación solar global obtenidos a través de plataformas terrestres.

La gran demanda de la información de radiación global, obliga a buscar propuestas de trabajos para un análisis válido y sencillo a los efectos de concluir que los registros de radiación global medidos son correctos y se encuentran aptos para su uso, para los sitios estudiados.

A partir de este trabajo se concluye que la radiación solar global media sobre el territorio paraguayo varía entre los extremos 110 y 292 W/m².

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Asunción, por darnos la oportunidad de realizar este trabajo con el objeto de promover y fomentar las áreas de investigación, a la Facultad Politécnica-UNA, por apoyar a las investigaciones facilitándonos los trabajos en esa casa de Estudios, a la Dirección de Meteorología e Hidrología-DINAC por suministrar todas las informaciones requeridas.

Al Dr. Juan Carlos Ceballos y al equipo de modelos por satélites del Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) -Brasil, por las atenciones a los pedidos requeridos para la culminación de este trabajo.

BOBLOGRAFÍA

IQBAL,M.1893. An Introduction to Solar Radiation. Department of mechanical Engineering the University of British Columbia, Vancouver: Academic Press.390 p.

GROSSI, H.;RIGHINI, R;ANTELO,O.1993. Aprovechamiento Energético de la Radiación Solar. Universidad Nacional de Lujan. Departamento de Ciencias Basicas:Buenos Aires. 92 p.

GROSSI,H.; ATIENZA, G.. 1994. La medición de la radiación solar en la República del Paraguay, Asunción: Instituto Nacional de Tecnología y Normalización. 4 p.

ORTEGA, M.; 2002. Energías Renovables, Madrid: Paraninfo. 328 p.

CEBALLOS, J. Algunas características del régimen de radiación solar en Argentina, Periodo 1996-2006, Sao Paulo: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/INPE. 8 p.

GROSSI, H; RIGHINI, R., 2007 Atlas de Energía Solar de la República Argentina, Argentina: Universidad Nacional de Lujan y SECYT. 74 p.

BENTLEY,P.; 2000. Sistemas de Medición. Principios y Aplicaciones, México: Compañía Editorial Continental. 572 p.

CEBALLOS, JUAN CARLOS. 2000. Estimativa de radiación solar en la superficie con cielo claro: Un modelo simplificado . Revista Brasi-

leira de Meteorologia, v.15, n.1,113-122,2000. <http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/4/10/2011>, 15:00 hs.http://www.ecured.cu/index.php/Radiacion_solar

