

ACTUALIZACION DE LA EVALUACION DE LOS DATOS DIARIOS DE RADIACION SOLAR GLOBAL OBTENIDOS POR LA RED SOLARIMETRICA

H. Grossi Gallegos; R. Lopardo; G. Atienza; M. García; M. Peralta

Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Centro Espacial San Miguel - Av. Mitre 3100 - 1663 San Miguel - Bs. As.

SUMEN

En este trabajo se presenta una actualización de las anteriores evaluaciones, habiéndose procesado algo más de 32.000 datos diarios y elaborado un conjunto de cuatro cartas en las que se muestra la distribución espacial del promedio diario de la radiación global para todo un año y para los períodos de verano, invierno y equinoccios. Se formulan algunas consideraciones sobre las características de la estadística que se presentan cuatro cartas con la distribución de la frecuencia anual de radiación global diaria en las 28 estaciones consideradas.

INTRODUCCION.

La Red Solarimétrica, que comenzara a instalarse en noviembre de 1978, cuenta en la actualidad con 41 estaciones ubicadas en territorio nacional y 3 en territorio boliviano, como parte estas últimas de un programa de cooperación establecido con la Universidad Mayor de San Andrés. Se encuentra así cubierto prácticamente todo el país, previéndose en el futuro un mejoramiento de la cobertura y de la precisión mediante la instalación de nuevas estaciones y el reemplazo de los solarímetros fotovoltaicos, cuya presencia asciende en el presente al 60%, por termoelectrónicos.

Los datos obtenidos hasta diciembre de 1982 en las 24 estaciones que hasta entonces registraban por lo menos un año completo de información fueron procesados anteriormente, indicándose la distribución espacio-temporal de la radiación solar global diaria en la zona relevada, evaluándose además algunas características estadísticas del material

Posteriormente, al agregarse un año más de datos, se elaboró una carta con la distribución del promedio anual de la radiación global diaria recibida sobre plano horizontal, con una resolución de $0,5 \text{ kWh/m}^2$ (2).

2. CARTAS DE RADIACION

Luego de dos años de publicada la primera evaluación se consideró que la estadística acumulada en 28 estaciones del territorio continental al 31 de diciembre de 1981 permitía la confección de un grupo de cartas con la distribución estacional de la radiación solar global diaria (se excluyeron, en consecuencia, las estaciones de la Antártica y las de más reciente instalación en Patagonia y Bolivia).

Para el trazado de las curvas en la zona de la Cordillera de los Andes se tuvieron en cuenta las cartas de radiación elaboradas por la Universidad Técnica Federico Santa María, de Chile (3), mientras que en la zona litoral se buscó la continuidad con registros del Estado de Río Grande del Sur en territorio brasileño, si bien el trabajo de que se disponía presentaba valores algo más bajos que los esperados, debido probablemente al instrumental utilizado hasta ese momento en la obtención de los datos (4).

Se ha elaborado así un conjunto de cuatro cartas en las que se muestra la distribución espacial del promedio de la radiación global diaria calculado para diferentes bases de tiempo: anual (figura 1), estival (figura 2), invernal (figura 3) y equinoccial (figura 4). El error de medi-

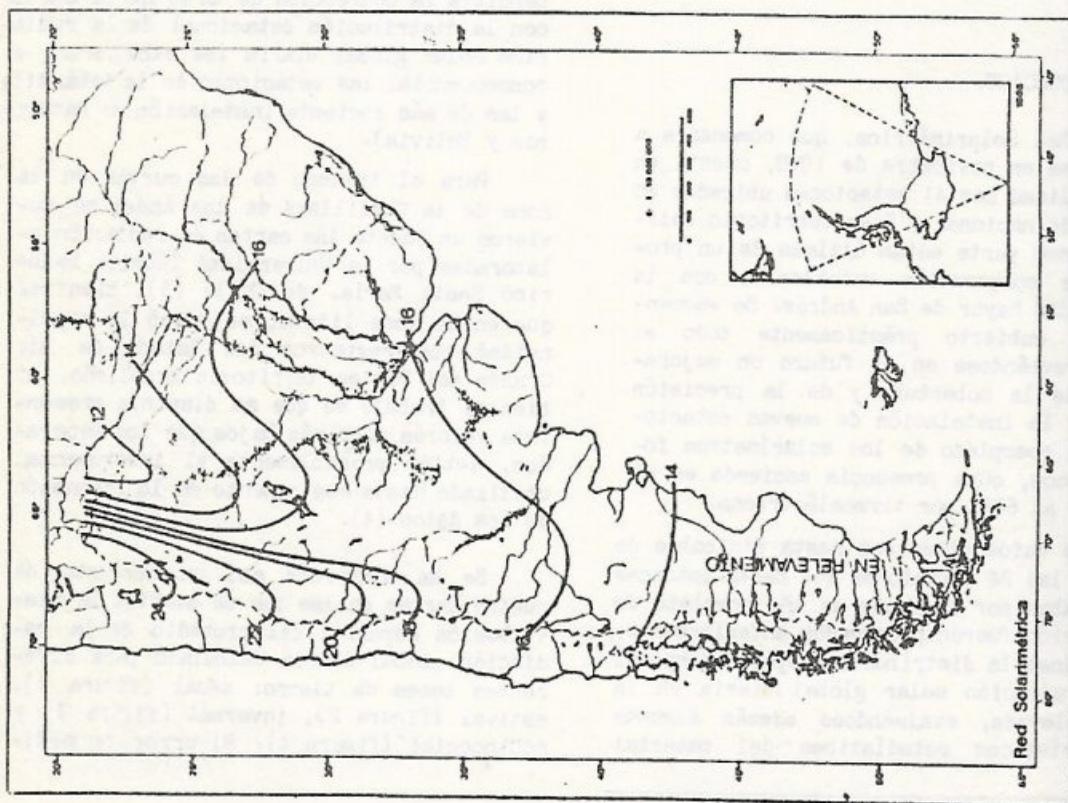


Figura 1. Distribución del promedio anual de los valores de la radiación solar global diaria sobre un plano horizontal, MJ/m^2 .

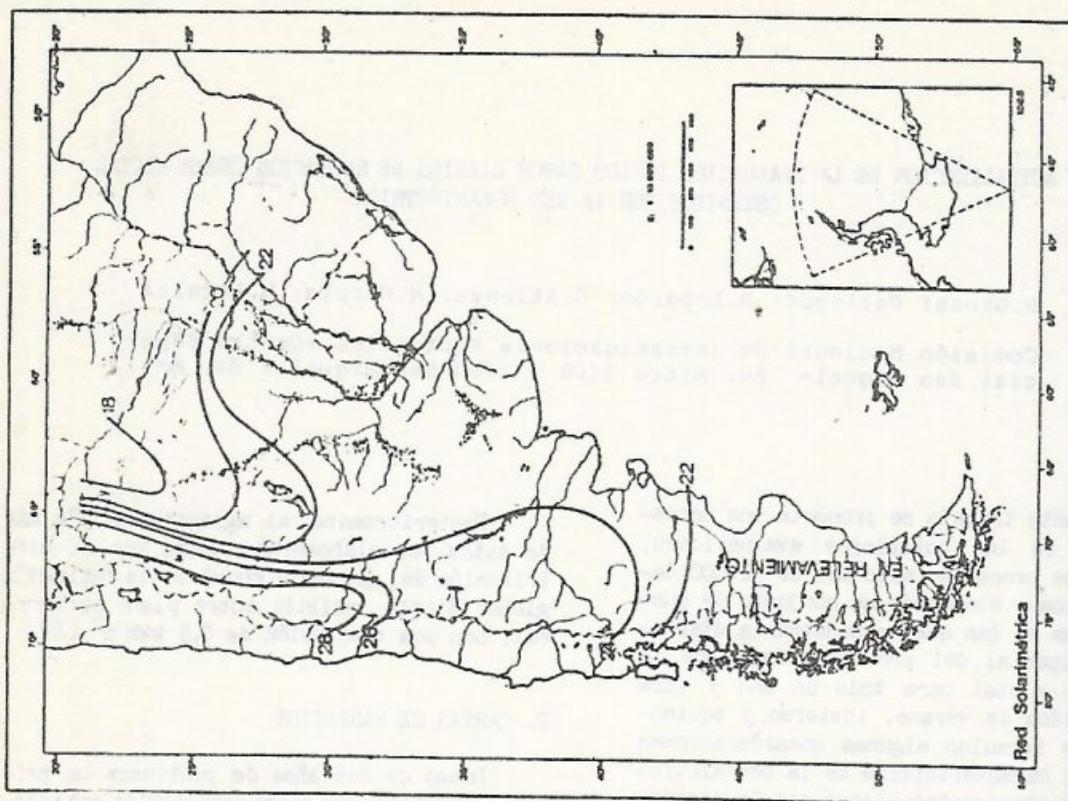


Figura 2. Distribución del promedio estival (noviembre, diciembre, enero, febrero) de los valores de la radiación solar global diaria sobre plano horizontal, MJ/m^2 .

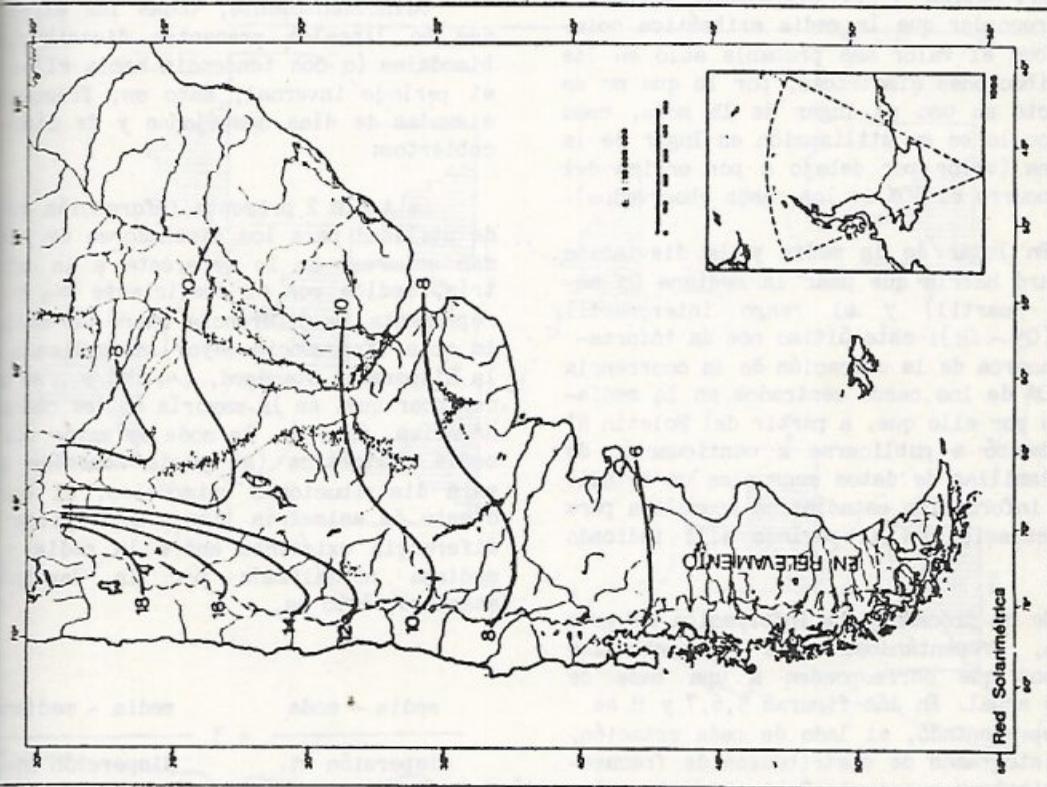


Figura 3. Distribución del promedio invernal (mayo, junio, julio, agosto) de los valores de la radiación solar global diaria sobre plano horizontal, MJ/m².

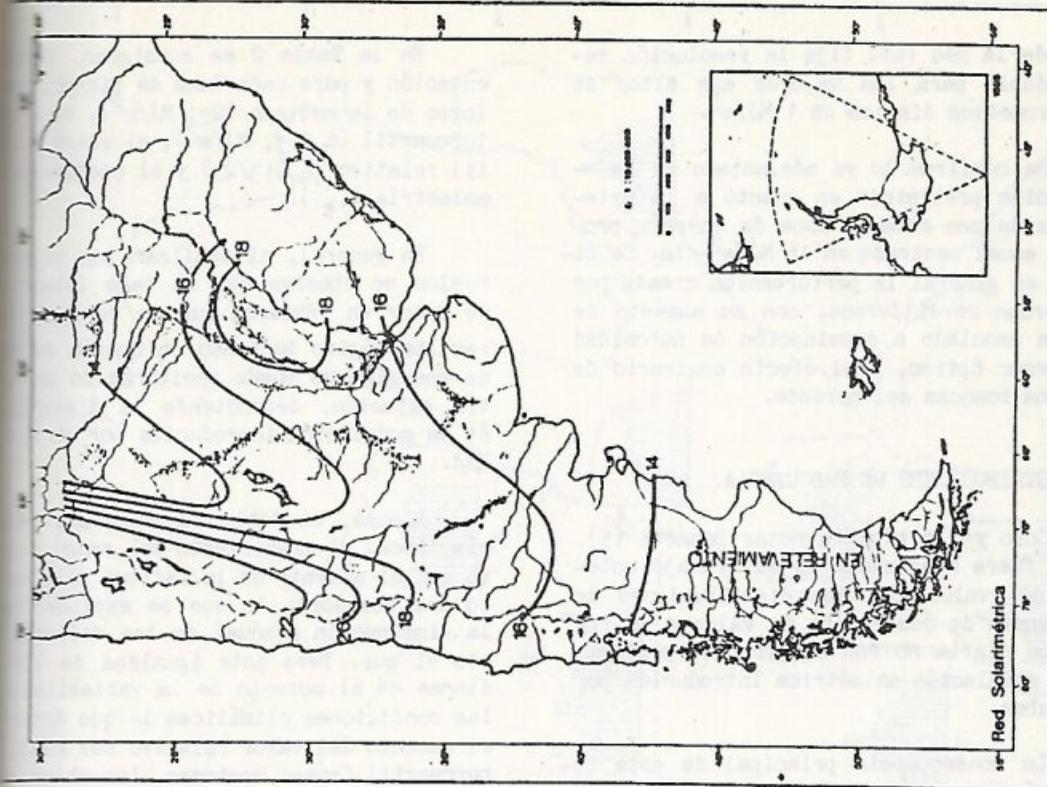


Figura 4. Distribución del promedio equinoccial (marzo, abril, septiembre, octubre) de los valores de la radiación solar global diaria sobre plano horizontal, MJ/m².

ción de la Red (6%) fija la resolución recomendable para los valores más altos de los promedios diarios en 1 MJ/m^2 .

Se confirma lo ya adelantado en la evaluación preliminar en cuanto a la existencia de una extensa zona de energía promedio anual centrada en $16 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$. Se observa en general la perturbación creada por el cordón cordillerano, con su aumento de altura asociado a disminución de nubosidad y espesor óptico, y el efecto contrario de la zona boscosa del noreste.

3. DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA.

Como ya lo hiciera notar Bennett (5), y así fuera mencionado en el trabajo anterior de evaluación, las distribuciones de frecuencia de ocurrencia de valores de radiación diaria no son simétricas, producto de la modulación asimétrica introducida por las nubes.

La consecuencia principal de esta característica es invalidar, o por lo menos condicionar, la información dada por la media aritmética y la dispersión standard. Cabe recordar que la media aritmética coincide con el valor más probable sólo en las distribuciones simétricas, por lo que no es correcto su uso en lugar de la moda, como tampoco lo es su utilización en lugar de la mediana (valor por debajo o por encima del cual ocurre el 50% de los casos observados).

En lugar de la media y la desviación standard habría que usar la mediana Q_2 (segundo cuartil) y el rango intercuartil ΔQ_{13} ($Q_3 - Q_1$); este último nos da información acerca de la ubicación de la ocurrencia del 50% de los casos centrados en la mediana. Es por ello que, a partir del Boletín N° 9, comenzó a publicarse a continuación de las planillas de datos mensuales un detalle de la información estadística acumulada para cada estación en el período allí indicado (6).

Se ha procesado la información de esta manera, presentándose aquí solamente los gráficos que corresponden a una base de tiempo anual. En las figuras 5, 6, 7 y 8 se han representado, al lado de cada estación, los histogramas de distribución de frecuencia, mientras que en la Tabla 1 se detallan las estaciones tenidas en cuenta en el estudio, como así también el número de datos diarios computados.

En la Tabla 2 se consignan, para cada estación y para cada base de tiempo, los valores de la mediana (Q_2 , MJ/m^2), el rango intercuartil (ΔQ_{13} , MJ/m^2), el rango intercuartil relativo ($\Delta Q_{13}/Q_2$) y el coeficiente de asimetría (α_3).

En general, al analizar los valores anuales se observa que el rango intercuartil es menor en invierno que en verano, lo que resulta lógico teniendo en cuenta el menor nivel de energía que puede recibirse en una estación, dependiendo la distribución de la modulación introducida por la nubosidad.

Además, es dable observar una tendencia lineal al crecimiento del rango relativo con el aumento de la latitud (alejamiento del ecuador), lo que se explicaría por la disminución gradual de las medianas hacia el sur. Pero ante igualdad de las medianas es el aumento de la variabilidad de las condiciones climáticas la que determina el aumento del valor relativo del rango intercuartil (zonas costeras, lacustres, etc. cosas o de orografía irregular).

Coincidentemente, todas las excepciones no lineales presentan distribuciones bimodales (o con tendencia hacia ellas). En el período invernal, ésto es, frecuencias elevadas de días despejados y de días cubiertos.

La tabla 2 presenta información que es de utilidad para los diseñadores de sistemas solares. En lo referente a la asimetría, medida por el coeficiente α_3 , α_3 representa la diferencia entre la mediana y la moda (frecuencia mayor) normalizada por la dispersión standard, $(M_1 - M)/\sigma$, se destaca que, en la mayoría de los casos negativa, ésto es, la moda es mayor que la media aritmética (se puede recordar que para distribuciones unimodales, el coeficiente de asimetría tiende a triplicar la diferencia existente entre la media y la mediana normalizada por la desviación standard, ésto es,

$$\frac{\text{media} - \text{moda}}{\text{dispersión st.}} = 3 \frac{\text{media} - \text{mediana}}{\text{dispersión st.}}$$

por lo que el signo de ambas diferencias es el mismo).

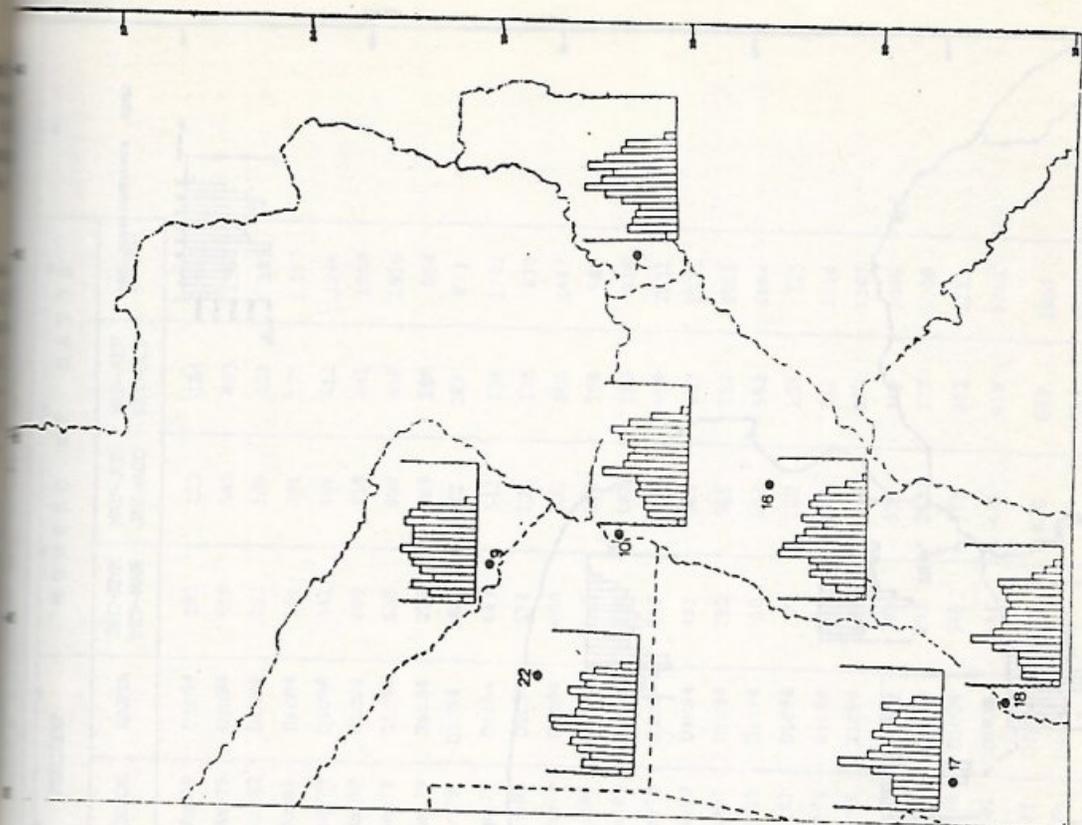


Figura 6. Histogramas de distribución de frecuencia relativa en base anual para las estaciones de la Red Solarimétrica, zona nor-este.

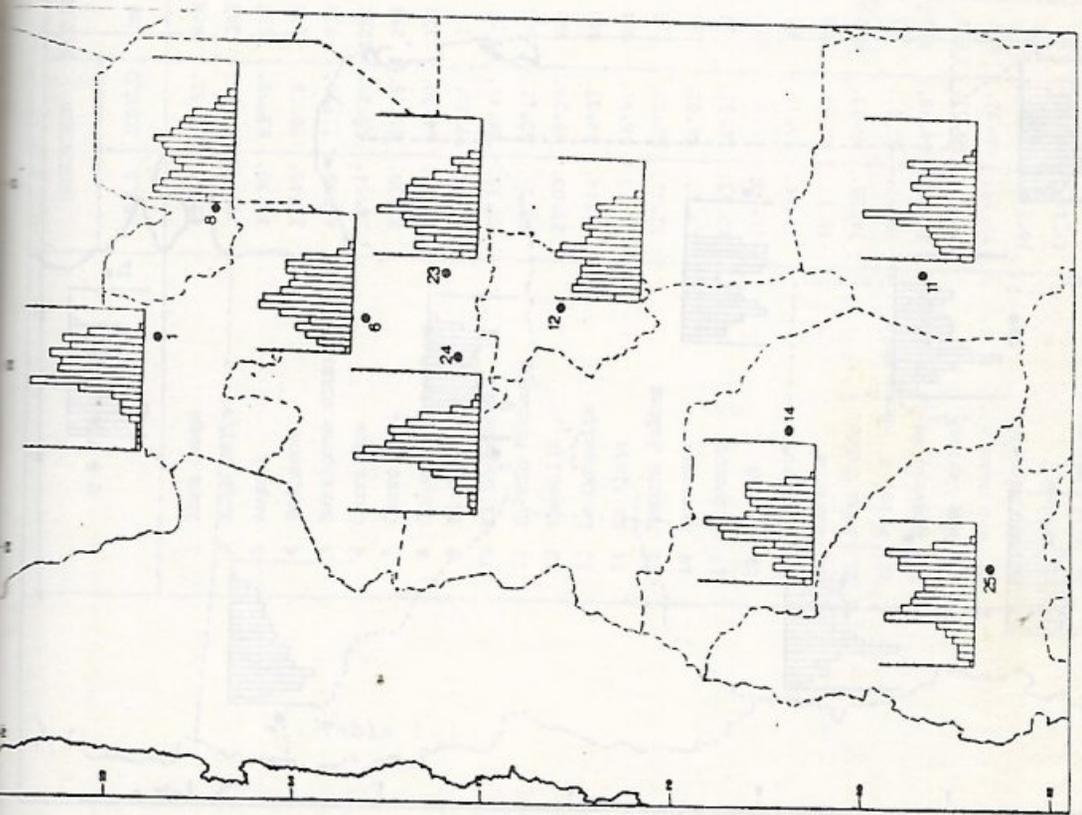


Figura 5. Histogramas de distribución de frecuencia relativa en base anual para las estaciones de la Red Solarimétrica, zona nor-oeste.

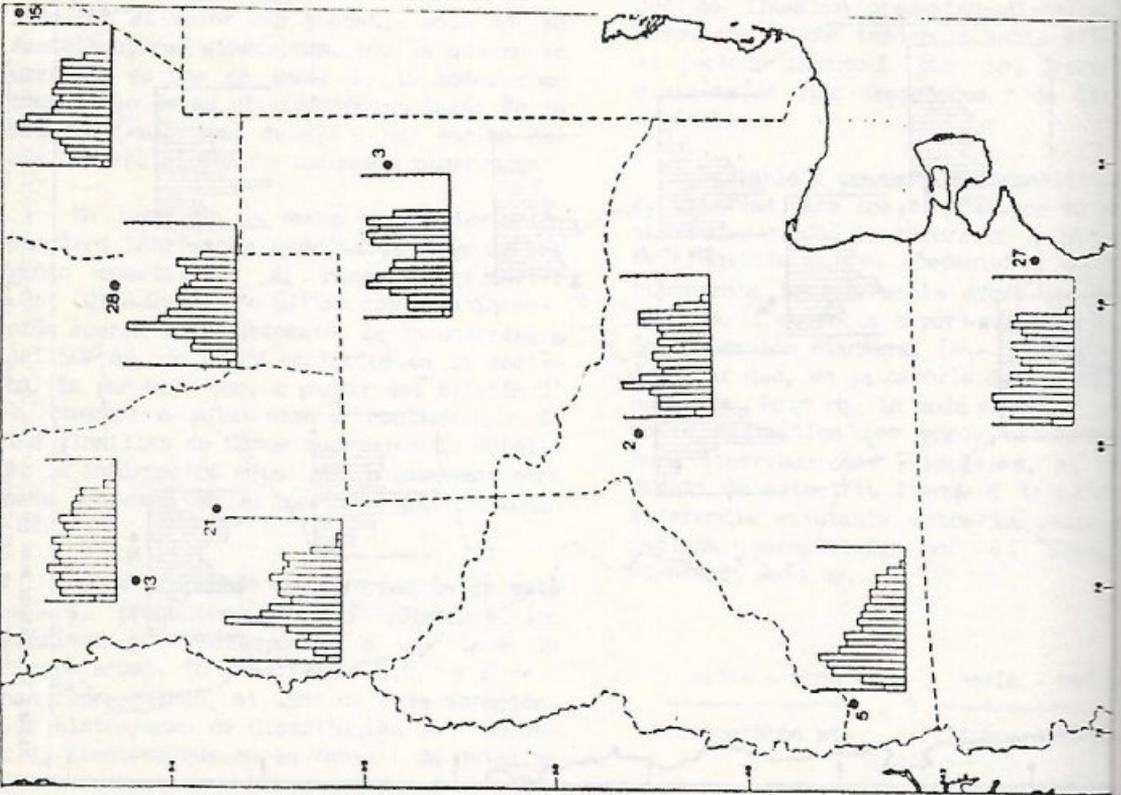
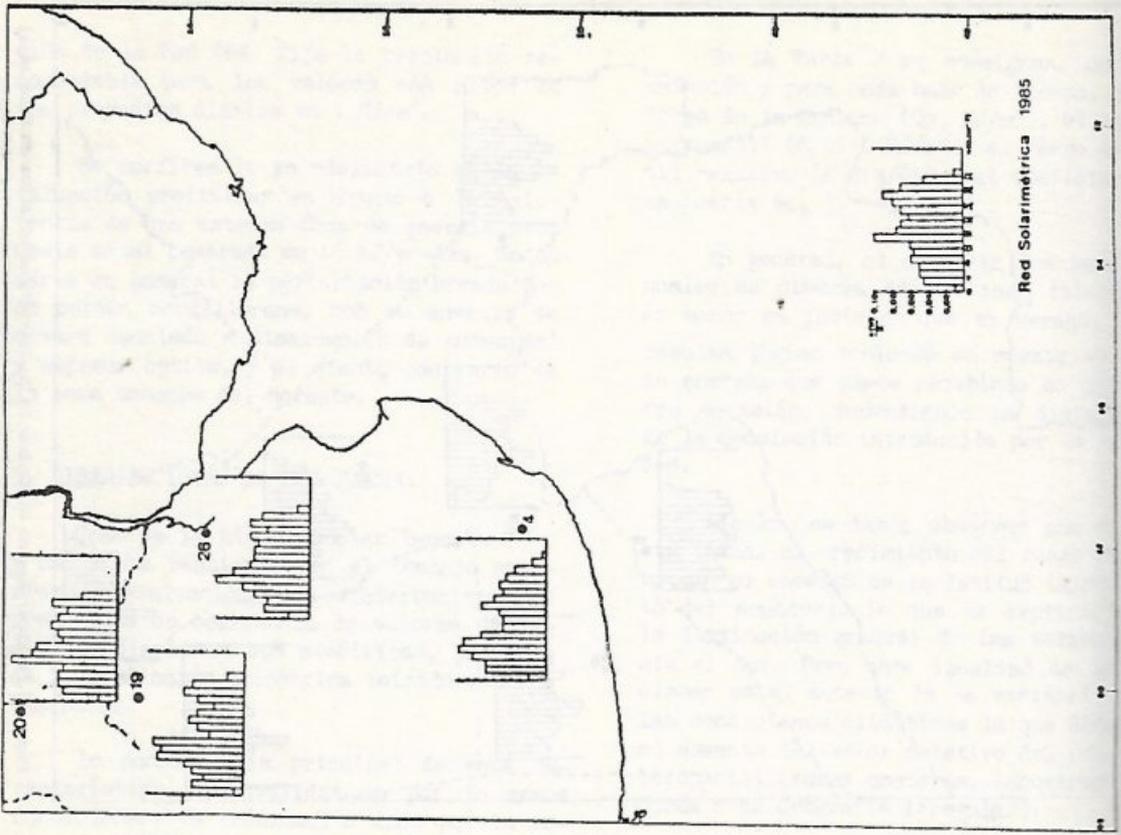


Figura 9. Radiación solar global y componentes de la radiación solar en la Península Ibérica.

ESTACION	UBICACION		ALTURA (m)	PERIODO		NUMERO DE DATOS					
	LAT. S	LONG. O		DESDE	HASTA	DIC-ENE FEB-MAR		MAY-JUN JUL-AGO		MAR-ABR SET-OCT	ANUAL
1	22°50'	65°51'	3484	Jun79	Dic84	183	113	184	480		
2	39°01'	67°40'	242	May79	Dic84	519	545	493	1557		
3	36°30'	63°59'	165	Jul82	Dic84	153	109	121	383		
4	37°45'	58°18'	130	Jun82	Dic84	191	201	175	567		
5	41°09'	71°10'	836	May79	Dic84	341	496	411	1248		
6	24°54'	65°29'	1250	Mar80	Dic84	409	358	441	1208		
7	27°39'	55°26'	283	Set79	Dic84	650	608	658	1916		
8	23°22'	64°30'	322	Set79	Dic84	277	289	288	854		
9	26°18'	59°23'	78	Set79	Dic84	348	242	283	873		
10	27°39'	58°46'	57	Set79	Dic84	643	543	556	1742		
11	30°53'	65°11'	500	Ene83	Dic84	174	121	175	470		
12	27°03'	65°25'	363	Ene79	Dic84	609	532	506	1647		
13	33°44'	69°07'	940	Mar80	Dic84	165	219	198	582		
14	29°25'	66°51'	504	Jul83	Dic84	175	181	180	536		
15	32°41'	62°07'	115	Ene79	Dic84	632	731	668	2031		
16	29°10'	58°01'	95	May80	Dic84	483	565	483	1531		
17	32°33'	60°51'	27	Jun81	Dic84	292	365	354	1011		
18	31°50'	60°31'	110	Ene79	Dic84	710	602	592	1904		
19	33°56'	60°34'	65	Dic81	Dic84	96	120	109	325		
20	31°17'	61°33'	100	Ene79	Dic84	705	717	712	2134		
21	34°30'	68°23'	692	Feb80	Dic84	446	569	532	1547		
22	26°52'	60°27'	90	Set79	Dic84	305	379	382	1066		
23	25°47'	64°59'	780	Mar79	Dic84	293	365	372	1030		
24	25°53'	65°53'	1710	Ene79	Dic84	348	373	392	1113		
25	31°37'	68°32'	618	Feb81	Dic84	424	420	419	1263		
26	34°33'	58°44'	26	Ago79	Dic84	605	620	642	1867		
27	43°14'	65°18'	10	Jul79	Dic84	369	315	314	1018		
28	33°43'	65°29'	515	Feb80	Dic84	367	368	383	1118		

Tabla 1

N° DE ESTACION	NOV-DIC-ENE-FEB			MAY-JUN-JUL-AGO			MAR-ABR-SET-OCT			A N U A L						
	Q ₂	ΔQ_{13}	$\Delta Q_{13}/Q_2$	α_3	Q ₂	ΔQ_{13}	$\Delta Q_{13}/Q_2$	α_3	Q ₂	ΔQ_{13}	$\Delta Q_{13}/Q_2$	α_3				
1	26,5	9,0	0,34	-1,48	17,5	2,0	0,11	-2,05	22,5	7,0	0,31	-1,30	22,5	9,0	0,40	-0,78
2	25,5	6,0	0,24	-1,44	7,5	5,0	0,67	+0,11	16,5	8,0	0,48	-0,56	14,5	16,0	1,10	+0,08
3	23,5	6,0	0,28	-1,56	7,5	5,0	0,67	-0,23	14,5	8,0	0,55	-0,30	15,5	14,0	0,90	-0,07
4	23,5	10,0	0,43	-0,72	6,5	5,0	0,77	-0,04	15,5	9,0	0,58	-0,19	12,5	15,0	1,20	+0,33
5	26,5	9,0	0,34	-0,94	5,5	5,0	0,91	+0,31	14,5	7,0	0,48	-0,08	12,5	15,0	1,20	+0,41
6	19,5	11,0	0,56	-0,58	11,5	7,0	0,61	-0,44	16,5	12,0	0,73	-0,25	14,5	11,0	0,76	-0,05
7	20,5	9,0	0,44	-0,89	10,5	9,0	0,86	-0,31	16,5	10,0	0,61	-0,63	15,5	11,0	0,71	-0,24
8	17,5	12,0	0,69	-0,26	7,5	10,0	1,33	+0,15	13,5	12,0	0,89	-0,14	12,5	13,0	1,04	+0,21
9	21,5	10,0	0,47	-0,76	8,5	8,0	0,94	+0,10	15,5	10,0	0,65	-0,44	14,5	13,0	0,90	-0,10
10	24,5	9,0	0,37	-1,03	11,5	9,0	0,78	-0,33	18,5	10,0	0,54	-0,71	16,5	14,0	0,85	-0,18
11	23,5	11,0	0,46	-0,75	10,5	6,0	0,57	-0,66	14,5	11,0	0,76	-0,31	14,5	13,0	0,90	+0,07
12	19,5	15,0	0,77	-0,45	9,5	9,0	0,95	-0,22	13,5	14,0	1,04	-0,14	12,5	13,0	1,04	+0,16
13	23,5	9,0	0,38	-0,98	7,5	9,0	1,20	+0,08	16,5	13,0	0,79	-0,29	13,5	15,0	1,11	+0,15
14	22,5	9,0	0,40	-1,05	11,5	7,0	0,61	-0,57	17,5	9,0	0,51	-0,74	15,5	10,0	0,65	-0,16
15	24,5	10,0	0,41	-1,01	9,5	6,0	0,63	-0,31	17,5	9,0	0,51	-0,60	14,5	12,0	0,83	+0,12
16	25,5	11,0	0,43	-0,92	11,5	7,0	0,61	-0,27	19,5	11,0	0,56	-0,57	15,5	13,0	0,84	+0,08
17	23,5	11,0	0,47	-1,01	8,5	6,0	0,71	-0,33	16,5	7,0	0,42	-0,75	13,5	12,0	0,89	+0,08
18	24,5	13,0	0,53	-0,82	10,5	6,0	0,57	-0,28	17,5	9,0	0,51	-0,60	16,5	13,0	0,79	+0,03
19	27,5	8,0	0,29	-1,42	9,5	8,0	0,84	-0,29	17,5	8,0	0,46	-0,45	14,5	13,0	0,90	+0,20
20	23,5	10,0	0,43	-0,90	10,5	7,0	0,67	-0,28	16,5	8,0	0,48	-0,53	14,5	12,0	0,83	+0,07
21	25,5	6,0	0,24	-1,60	9,5	4,0	0,42	-0,57	17,5	8,0	0,46	-0,72	15,5	13,0	0,84	+0,06
22	23,5	10,0	0,43	-0,89	9,5	9,0	0,95	-0,19	17,5	10,0	0,57	-0,45	14,5	13,0	0,90	+0,03
23	19,5	10,0	0,51	-0,56	10,5	6,0	0,57	-0,41	13,5	11,0	0,81	-0,34	12,5	11,0	0,88	+0,11
24	22,5	9,0	0,40	-0,95	14,5	3,0	0,21	-1,25	19,5	5,0	0,26	-1,05	17,5	9,0	0,51	-0,24
25	28,5	5,0	0,18	-1,78	12,5	5,0	0,40	-0,76	20,5	7,0	0,34	-0,90	19,5	14,0	0,73	-0,23
26	23,5	9,0	0,38	-1,01	8,5	7,0	0,82	-0,22	15,5	9,0	0,58	-0,41	13,5	13,0	0,96	+0,12
27	23,5	7,0	0,30	-1,53	5,5	5,0	0,91	+0,25	13,5	8,0	0,59	-0,39	13,5	15,0	1,11	+0,12
28	24,5	10,0	0,41	-1,00	9,5	5,0	0,53	-0,49	16,5	8,0	0,48	-0,49	14,5	12,0	0,83	+0,18

Tabla 2

Es así que, para el verano y los equinoccios, el 100% de las estaciones presenta asimetría negativa, mientras que para el invierno dicho valor se reduce al 78% y en base anual, al 33% de las estaciones.

Es de destacar en el período de los meses de verano el comportamiento de las estaciones San Juan, Rama Caída, Anguil, Alto Valle, Trelew y Abrapampa, las que, además de presentar bajo rango intercuartil, ofrecen marcada asimetría negativa en el orden decreciente en que fueron citadas. Esto indica una notoria concentración de días con elevados niveles de energía (cielos despejados).

Esta característica la conserva Abrapampa en los tres períodos en que se ha dividido el año, mientras que San Carlos la presenta en invierno y equinoccios.

Los máximos coeficientes positivos de asimetría (moda menor que la media) los presenta Bariloche (CAB) en invierno y en el comportamiento anual (0,31 y 0,41 respectivamente).

6. CONCLUSION

Se considera que, si bien la presente estadística no es definitiva, los resultados presentados serán de utilidad a los usuarios de la energía solar en Argentina. A medida que aumente la estadística la base de tiempo podrá irse reduciendo hasta valores mensuales.

Por otra parte, además del mejoramiento de la precisión y la cobertura que fueran mencionados en la introducción, la utilización, en lugares que no cuentan con estaciones de la Red, de las correlaciones establecidas con la heliofonía (insolación) relativa (2) y con datos satelitarios (7) permitirá reducir la escala geométrica de resolución, mientras que el análisis de la variabilidad de los datos obtenidos en zonas homogéneas (función estructural) permitirá acotar el error que se cometa en la interpolación-extrapolación de los valores medidos (8).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con la financiación de la Organización de los Estados Americanos (O.E.A) y de la Secretaría de Ciencia y Técnica (SECyT).

REFERENCIAS

1. H. Grossi Gallegos, I. Nollmann, R. Lopardo y G. Atienza. Evaluación preliminar del recurso solar en Argentina. Actas de la 8va. Reunión de Trabajo de la ASADES, Santa Rosa, La Pampa, pp. 173-194 (1983).
2. H. Grossi Gallegos, R. Lopardo, M. García y M. Peralta. Determinación de la correlación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global medida por la Red Solarimétrica. Actas de la 9na. Reunión de Trabajo de la ASADES, San Juan, pp. 261-266 (1984).
3. A. Arata Andreani. Datos para proyectos de energía solar. Publicado por la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 90 p (1983).
4. M.C. Kessler y O.D. Corbella. Mapas de radiación solar diaria total media mensual sobre superficie horizontal para el Rio Grande Sul, para los 12 meses de año. Atas do 2º Congresso Latino-Americano de Energia Solar, Joao Pessoa, Brasil, Volumen I, pp. 61-79 (1979).
5. I. Bennett. Frequency of Daily Insolation in Anglo North America during June and December. Solar Energy, Volume 11 (1), pp. 41-55 (1967).
6. Red Solarimétrica. Boletín N° 9, primer semestre 1983. Publicado por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (1983).
7. L.A. Frulla, D.A. Gagliardini, E. Grossi Gallegos y R. Lopardo. Comparación entre la determinación de la radiación solar global mediante el satélite geo-estacionario GOES y las mediciones de la Red Solarimétrica. Actas de la 10na. Reunión de Trabajo de la ASADES, Neuquén (1985).
8. H. Grossi Gallegos y R. Lopardo. Variabilidad espacial de los valores de la radiación solar global obtenidos por la Red Solarimétrica en la zona de la Tropa Húmeda. Actas de la 10na. Reunión de Trabajo de la ASADES, Neuquén (1985).