

(Publicado en junio de 1997)

## IRRADIACIÓN SOLAR EN BALEARES

José A. Guijarro (Centro Meteorológico de Baleares)

### Introducción

Con la puesta en marcha, por parte del Instituto Nacional de Meteorología, de la Red Radiométrica Nacional, el 1 de mayo de 1975 comenzaron a tomarse medidas de irradiación solar en el observatorio del Centro Meteorológico de Baleares, mediante un piranómetro termoeléctrico. El observatorio estaba situado en aquel entonces en el Sector Aéreo de Baleares (en la calle Antonio Planas, de Palma), pero el 1 de febrero de 1978 se trasladó a su actual sede en el muelle de Pelaires.

El 1 de enero de 1976 se iniciaron también las medidas de este importante elemento climatológico en el observatorio del aeropuerto de Menorca, aunque empleando un piranómetro bimetalico, de menor precisión que los termoeléctricos. Estas medidas se interrumpieron en 1990 por avería del aparato, que no fué substituído.

Por último, desde febrero de 1982 se dispone también de medidas de irradiación solar del aeropuerto de Ibiza, tomadas con un piranómetro termoeléctrico. En todas estas series encontramos algunas lagunas, por averías de distinta importancia, pero la más importante de ellas la tenemos en este observatorio, del que faltan datos desde agosto de 1989 hasta diciembre de 1993.

Hasta ahora nos hemos referido a medidas de irradiación global (que incluye la directa del sol y la difundida y reflejada por la atmósfera) de una superficie horizontal libre de obstáculos. Pero desde enero de 1986 contamos también con medidas de irradiación difusa del observatorio de Palma, tomadas con un piranómetro termoeléctrico dotado de una banda parasol que impide que la radiación directa del sol incida en el elemento sensible del instrumento.

Al no figurar la irradiación solar en las tablas de datos que se vienen publicando en este Boletín Mensual Climatológico, estas medidas aparecieron en él de forma esporádica, como datos anexos. Así, en el boletín de septiembre de 1975 se dió noticia del inicio de las observaciones y se publicaron los valores diarios, en forma gráfica, de los meses de mayo a septiembre. En números posteriores se continuó la publicación de las gráficas de los datos diarios, según la siguiente tabla:

Boletín	Datos publicados
Resumen anual de 1975	Mayo a diciembre de 1975
Febrero de 1978	Años 1976 y 1977
Abril de 1981	Años 1978 y 1979
Octubre de 1982	Año 1980
Febrero de 1983	Años 1981 y 1982

Como puede observarse, únicamente se han publicado hasta la fecha datos de irradiación solar de Palma de Mallorca, y sólo hasta 1982. En una próxima revisión de los formatos de las tablas del Boletín se tiene pensado incluir los valores mensuales de irradiación global, para que aparezcan rutinariamente junto con los de horas de sol, etc. Mientras tanto, parece oportuno cubrir la laguna que se había producido mediante la publicación de los datos obtenidos hasta la

fecha, al menos en su forma mensual, lo que constituye el objeto del presente artículo. También se revisará la relación de la irradiación solar con la insolación (horas de sol), que servirá para ofrecer medias de irradiación homogeneizadas para el treintenio climatológico internacional 1961-90.

### Datos obtenidos

Los datos se habían publicado hasta ahora en calorías por  $\text{cm}^2$ . Posteriormente se adecuaron a la Referencia Radiométrica Mundial, y se han convertido a Megajulios por  $\text{m}^2$  para emplear el Sistema Internacional de unidades. En las tablas anexas se ofrece un resumen de los mismos, bajo dos formas:

- a) Frecuencias mensuales (%), por intervalos, de la irradiación solar global diaria.
- b) Valores mensuales de irradiación (expresados como promedio diario) registrados hasta ahora en cada observatorio.

### Relación con la insolación relativa

La irradiación solar de un lugar depende fundamentalmente de su latitud, de la época del año, y de la transparencia atmosférica. El mayor obstáculo para que la radiación solar atraviese la atmósfera lo constituyen las nubes, por lo que, conocida su cantidad, se puede hacer una estimación de la radiación solar que alcanzará la superficie terrestre. Esta estima vendrá afectada de errores, puesto que los diferentes tipos de nubes y su variable espesor afectarán de distinta manera a la transmisividad de la radiación, pero la relación es lo suficientemente buena como para resultar muy útil, sobre todo cuando tratamos con valores promedio, en los que los errores de días individuales tienden a compensarse.

Como la nubosidad se anota en los registros climatológicos en forma de observaciones puntuales, realizadas a horas fijas, resulta más conveniente emplear la insolación relativa (relación entre las horas de sol efectivas y las máximas teóricamente posibles) como medida integradora de la nubosidad de todo el día. La expresión que emplearemos para relacionar la irradiación solar global  $G$  con la insolación relativa  $I$  es la propuesta por Prescott (PRESCOTT, 1940; BLACK *et al.*, 1954):

$$G = G_0(a + b I)$$

donde  $G_0$  es la irradiación que se tendría en ausencia de atmósfera, y  $a$  y  $b$  constantes a determinar para cada observatorio.

Estas constantes se obtienen mediante análisis de regresión lineal entre los cocientes  $G/G_0$  y los datos de insolación relativa. Previamente es necesario conocer los valores de  $G_0$ , que se calcularon mediante las fórmulas que aparecen en la literatura (KONDRATYEV, 1969; ONRUBIA *et al.*, 1976).

El análisis de regresión llevado a cabo para la estación de Palma de Mallorca, con 7303 pares de datos, produjo unos valores de 0,228 para  $a$  y 0,499 para  $b$ , con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,846, que indica que, con la relación lineal encontrada, la insolación relativa explica un 84,6% de la varianza de los cocientes  $G/G_0$ . El error típico de éstos resulta ser igual a 0,057.

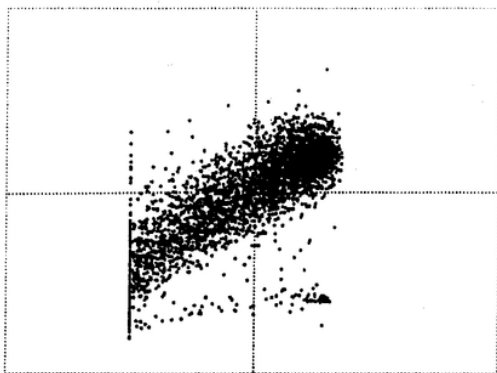


Fig. 1.- Relación entre la irradiación global (ordenadas) y la insolación relativa (abscisas).

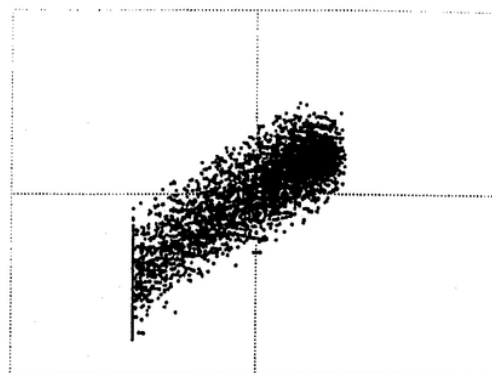


Fig. 2.- Igual a la anterior una vez eliminados los datos anómalos.

En el caso del aeropuerto de Menorca los resultados de la regresión son peores:  $r^2=0,622$ , y un error típico de 0,096. Ello es debido en parte a la presencia de valores extraños (*outliers*), como puede apreciarse en la figura 1. Para eliminarlos se procedió a descartar los datos cuyos residuos (desviaciones respecto al valor estimado por la recta de regresión) estuvieran fuera del rango de  $\pm 3$  desviaciones típicas. En tres iteraciones se eliminaron 143 datos anómalos. Con los 4573 pares de datos restantes (figura 2) los valores de  $a$  y  $b$  fueron, respectivamente, 0,279 y 0,452, con un coeficiente de determinación de 0,763 y un error típico de 0,072. Estos valores, aunque mejores que los obtenidos primeramente, siguen siendo peores que los de Palma, lo que cabe atribuir a la menor precisión del instrumento de medida del aeropuerto de Menorca.

El análisis de los datos del aeropuerto de Ibiza también puso de manifiesto la existencia de datos anómalos, que se filtraron por el método ya citado. Se realizó una sola iteración, en la que se eliminaron 41 datos. Los resultados obtenidos con los demás datos (2991) fueron:  $a = 0,276$  y  $b = 0,466$ , con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0,803$  y un error típico igual a 0,061.

Los resultados obtenidos para cada uno de los observatorios se resumen en la siguiente tabla:

Observatorio	$a$	$b$	$r^2$	E.típ.
Palma C. Met.	0,228	0,499	0,846	0,057
A. de Menorca	0,279	0,452	0,763	0,072
A. de Ibiza	0,276	0,466	0,803	0,061

Los coeficientes de los aeropuertos de Menorca e Ibiza son muy parecidos entre sí, aunque algo diferentes a los de Palma. No obstante, tanto unos como otros se encuentran dentro del rango de valores obtenidos en otros lugares del mundo con similar insolación relativa media (RIETVELD, 1978). Por otra parte, la recta de regresión de Palma es la que produce menores errores en las estimas de la irradiación, y sus coeficientes son muy similares a los que se hallaron en un trabajo previo (GUIJARRO, 1981), con una muestra de datos de los cinco primeros años de observación.

### Valores medios para el periodo 1961-90

En el último trabajo citado se encontró una gran similitud entre los coeficientes de regresión obtenidos con datos diarios y con datos medios mensuales:

Datos empleados	Coefficiente a	Coefficiente b
300 valores diarios	0,22	0,48
60 valores mensuales	0,23	0,47

Por lo tanto, aplicando las ecuaciones de regresión del apartado anterior a los datos mensuales homogeneizados del periodo 1961-90 obtendremos los valores de irradiación global, referidos igualmente a dicho treintenio climatológico internacional.

Primeramente es necesario así obtener los valores medios de la insolación relativa en cada uno de los observatorios. Las series del aeropuerto de Ibiza están bastante completas en dicho treintenio, y lo mismo sucede con las de Palma si consideramos que las diferencias de insolación entre el actual emplazamiento y el anterior deben ser despreciables, y que por tanto pueden formarse series combinando los datos de ambas ubicaciones. Como medias homogeneizadas de insolación relativa para el periodo 1961-90 tomaremos entonces los promedios de dichas series, considerando que los escasos meses sin datos, tanto en Ibiza como en Palma, no deben modificar apenas los resultados.

Caso diferente es el del aeropuerto de Menorca, con datos únicamente desde octubre de 1970. El observatorio de Palma Jefatura (B228J) tiene 7 años de funcionamiento en común (1971-77), que han permitido estimar los promedios del aeropuerto de Menorca para el decenio 1961-70 mediante el método de las proporciones (JANSA, 1969). Los valores medios homogeneizados para el treintenio completo se obtienen entonces mediante medias ponderadas entre estos promedios y los del periodo 1971-90.

A continuación se han calculado los valores medios mensuales de irradiación en ausencia de atmósfera para cada uno de los observatorios, y se han aplicado las ecuaciones de regresión halladas anteriormente, con lo que se tienen los valores de irradiación global buscados. En la tabla siguiente se ofrecen los resultados de estos promedios mensuales, tanto de insolación relativa ( $I$ ), como de irradiación global (sin,  $G_0$ , y con atmósfera,  $G$ ) para el treintenio 1961-90:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
B228 - Palma Centro Meteorológico													
$I(\%)$	54.7	55.5	53.2	55.6	62.9	69.0	75.2	73.7	62.4	59.9	55.9	53.1	60.9
$G_0(MJ/m^2)$	15.90	21.29	28.52	35.48	40.28	42.21	41.06	36.99	30.77	23.50	17.23	14.26	29.00
$G(MJ/m^2)$	7.97	10.75	14.08	17.93	21.83	24.16	24.77	22.04	16.60	12.38	8.73	7.03	15.72
B893 - Aeropuerto de Menorca													
$I(\%)$	48.4	51.5	51.2	55.2	62.9	70.6	78.6	75.0	64.4	56.3	52.0	46.7	59.4
$G_0(MJ/m^2)$	15.66	21.08	28.35	35.38	40.26	42.22	41.05	36.92	30.63	23.30	17.00	14.02	28.86
$G(MJ/m^2)$	7.80	10.79	14.47	18.70	22.68	25.25	26.04	22.82	17.46	12.43	8.74	6.87	16.20
B954 - Aeropuerto de Ibiza													
$I(\%)$	53.7	54.9	54.4	58.3	64.5	68.7	75.1	72.0	63.8	59.4	54.7	52.8	61.2
$G_0(MJ/m^2)$	16.29	21.65	28.80	35.64	40.33	42.20	41.07	37.11	31.00	23.83	17.61	14.65	29.22
$G(MJ/m^2)$	8.60	11.55	15.30	19.56	23.26	25.14	25.66	22.66	17.79	13.20	9.38	7.68	16.68







IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL (media diaria, en MJ/m<sup>2</sup>) en el aeropuerto de Ibiza:

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1982	-	9.74	17.00	19.42	23.18	27.55	26.43	22.59	17.33	13.62	8.89	8.57
1983	10.00	11.59	16.87	22.43	26.61	25.47	26.58	22.31	19.21	14.32	9.09	8.20
1984	9.36	10.83	15.95	20.94	20.55	26.70	25.05	20.71	17.05	13.93	8.42	-
1985	8.82	-	-	-	-	-	24.05	23.80	-	12.23	8.09	7.09
1986	8.65	10.68	14.86	19.00	21.36	25.85	24.36	21.03	17.18	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	18.06	11.92	8.59	6.72
1988	7.15	11.85	16.93	19.86	22.67	22.62	24.89	21.96	17.13	12.78	8.92	-
1989	8.42	11.66	15.82	19.62	21.58	25.28	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	9.75	12.92	17.62	22.06	-	-	-	21.89	-	11.75	9.19	8.31
1995	7.06	10.07	15.29	22.24	25.41	24.48	25.22	20.16	16.98	12.83	8.64	6.02
1996	7.80	12.03	14.89	19.62	24.42	26.33	25.79	22.50	16.47	12.86	9.31	6.35

IRRADIACIÓN SOLAR DIFUSA (media diaria, en MJ/m<sup>2</sup>) en Palma de Mallorca:

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1986	3.19	4.87	4.97	6.24	6.07	7.13	6.61	6.38	4.97	4.31	3.17	2.71
1987	3.05	4.33	6.01	6.46	7.15	6.50	7.43	7.01	5.24	4.78	3.23	2.47
1988	3.10	4.04	5.27	-	7.63	8.65	5.95	6.34	5.22	4.53	3.43	2.47
1989	2.97	-	-	6.91	7.54	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	7.98	7.20	7.20	5.57	6.69	6.38	4.36	3.20	3.06
1991	3.01	3.67	5.09	6.81	7.65	-	6.24	5.91	5.49	4.94	3.69	3.14
1992	3.88	4.52	6.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	6.05	-	-	-	6.70	6.52	5.34	4.87	3.46	2.45
1994	3.03	4.93	5.74	7.73	8.95	7.32	7.79	6.98	6.91	-	-	-
1995	3.39	4.23	6.14	7.86	8.10	8.45	7.25	8.63	5.96	5.12	3.27	4.34
1996	3.64	4.56	7.06	-	-	8.07	7.53	7.33	6.82	6.44	3.43	3.17