Revista de Climatología

Vol. 7 (2007): 27-32 ISSN 1578-8768

©Copyright de los autores de cada artículo. Se permite su reproducción y difusión por cualquier medio, siempre que se haga sin interés económico y respetando su integridad

Cambios en la medida de las horas de insolación: Análisis de su impacto en dos observatorios de las Islas Baleares (España)

José A. Guijarro

Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico en Illes Balears, Palma de Mallorca, España (jaguijarro@inm.es)

(Recibido: 17-Dic-2007. Publicado: 31-Dic-2007)

Resumen

Se han comparado las medidas de horas de sol realizadas en paralelo con el heliógrafo Campbell-Stokes, utilizado tradicionalmente en los observatorios españoles, con las medidas de los nuevos instrumentos de Kipp&Zonen, basados en el umbral de irradiación directa de 120 Wm^{-2}. La comparación se ha realizado con los datos de dos observatorios de Baleares, ubicados en los aeropuertos de Menorca e Ibiza, en los que las nuevas medidas son generalmente inferiores a las antiguas, con diferencias medias diarias de -0,97 y -0,58 horas respectivamente. En términos relativos, la disminución respecto al promedio anual del periodo 1971-2000 es de un 13,2 % en Menorca y un 7,8 % en Ibiza. Se han realizado ajustes por regresión lineal simple y múltiple que explican un 94 % de la varianza de la insolación diaria. Las ecuaciones obtenidas pueden servir para homogeneizar las series de datos diarios de horas de sol, con errores típicos de 0,98 horas en el aeropuerto de Menorca y 0,86 en el de Ibiza, pero no son aplicables a otros observatorios.

Palabras Clave: Horas de sol, insolación, instrumentos, homogeneidad, series climáticas.

Abstract

Parallel measurements of sunshine duration made with the Campbell-Stokes heliograph, traditionally used in the Spanish observatories, have been compared with those of the new Kipp&Zonen instrument, based on a direct irradiation threshold of 120 Wm^{-2}. This comparison has been undertaken for two Balearic observatories, located at the airports of Minorca and Ibiza, where the new measurements are generally lower than the former, with average daily differences of -0.97 y -0.58 hours respectively. In relative terms this implies a decrease of the 1971-2000 annual mean of a 13.2 % at Minorca and a 7.8 % at Ibiza. Simple and multiple linear regression models have been adjusted that account for a 94 % of the daily sunshine hours variance. These equations may be used to homogenise their daily series, with RMSE of 0.98 hours at Minorca airport and 0.86 at that of Ibiza, but are not applicable to other observatories.

Key Words: *Sunshine hours, instruments, homogeneity, climatic series.*

1. Introducción

Las horas de insolación constituyen un elemento climatológico que se viene midiendo tradicionalmente en los observatorios de la red principal del Instituto Nacional de Meteorología (INM) de España mediante el heliógrafo Campbell-Stokes, en el que una lente esférica concentra los rayos de sol sobre una banda oscura de papel, produciendo una quemadura cuando el sol no está oculto, total o parcialmente, por las nubes. La duración de estas quemaduras se evalúa manualmente, obteniéndose los totales diarios en horas y décimas. Estas medidas han tenido aplicaciones relacionadas con el turismo (Besancenot, 1991), la agricultura, y el aprovechamiento energético, puesto que han sido muy usadas para evaluar indirectamente tanto la nubosidad N, complemento del cociente entre la insolación medida, I, y la máxima teórica, I_T (es decir, $N = 1 - I/I_T$), como la irradiación solar, mediante la aplicación de fórmulas de tipo Angstrom (Prescott, 1940; Black *et al.*, 1954; Guijarro, 1981 y 1997; Iqbal, 1983; Almorox y Ontoria, 2004).

Recientemente, con la progresiva automatización de muchas observaciones en los observatorios de los aeropuertos, se han instalado medidores de insolación de la marca Kipp&Zonen, modelo CSD1, que miden las horas de sol contabilizando el tiempo en que la radiación solar directa sobrepasa el umbral de 120 Wm^{-2}, según lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2003). Este cambio se ha realizado en los tres aeropuertos del archipiélago Balear, pero los datos climatológicos de horas de sol del aeropuerto de Palma de Mallorca se han seguido tomando del heliógrafo Campbell-Stokes, mientras que en los aeropuertos de Ibiza y Menorca estas medidas ya son del instrumento Kipp&Zonen desde el 29 de noviembre de 2004 y el 4 de marzo de 2005, respectivamente.

Un cambio tan importante en la manera de medir este elemento climatológico puede afectar a la homogeneidad de las series y a trabajos de evaluación de sus tendencias como el de Sánchez Lorenzo *et al.* (2007), como señalan Brázdil *et al.* (1994), si bien Stanhill y Cohen (2005) no encontraron variaciones apreciables en dos cambios de instrumentación habidos en los Estados Unidos de América en el siglo XX (aunque no compararon medidas simultáneas, ni tampoco usaron datos de heliógrafo Campbell-Stokes). Por ello, y siguiendo recomendaciones internacionales (Aguilar *et al.*, 2003), se realizaron observaciones en paralelo con ambos sensores durante un periodo de entre uno y dos años. El análisis y comparación de estas medidas, así como la evaluación de su previsible impacto en las series climatológicas, es lo que constituye el objeto de este trabajo.

2. Análisis y discusión

Mediante el paquete estadístico "R" se han analizado medidas simultáneas con ambos tipos de instrumentación durante 365 días en el aeropuerto de Menorca (del 1-Abr-2005 al 31-Mar-2006) y 660 días en el de Ibiza (del 1-Feb-2005 al 29-Nov-2006, descontando siete días sin datos simultáneos). La ubicación de estos observatorios se puede ver en la figura 1. Tras calcular las diferencias entre las medidas recientemente implantadas (basadas en el umbral de irradiación: URAD), y las del heliógrafo manual (HELI), se ha obtenido el resumen estadístico de la tabla 1.

Vemos en ella que las nuevas medidas pueden diferir de las antiguas desde un par de horas de más, hasta unas 5 horas de menos. Los rangos intercuartílicos nos muestran que lo más frecuente es encontrar déficits de alrededor de una hora, con promedios de -1,0 horas en el aeropuerto de Menorca, y de -0,6 en el de Ibiza. Estas diferencias son realmente importantes, acumulando déficits (respecto a las medidas antiguas) de 29 y 17 horas en sol en un mes de 30 días, y de 355 y 212 horas al año. Puesto que los promedios anuales del treintenio 1971-2000 son de 2698 y 2734 horas (Ibiza es algo más soleada), estas diferencias suponen, en términos relativos, una disminución de un 13,2 % en Menorca y un 7,8 % en Ibiza.

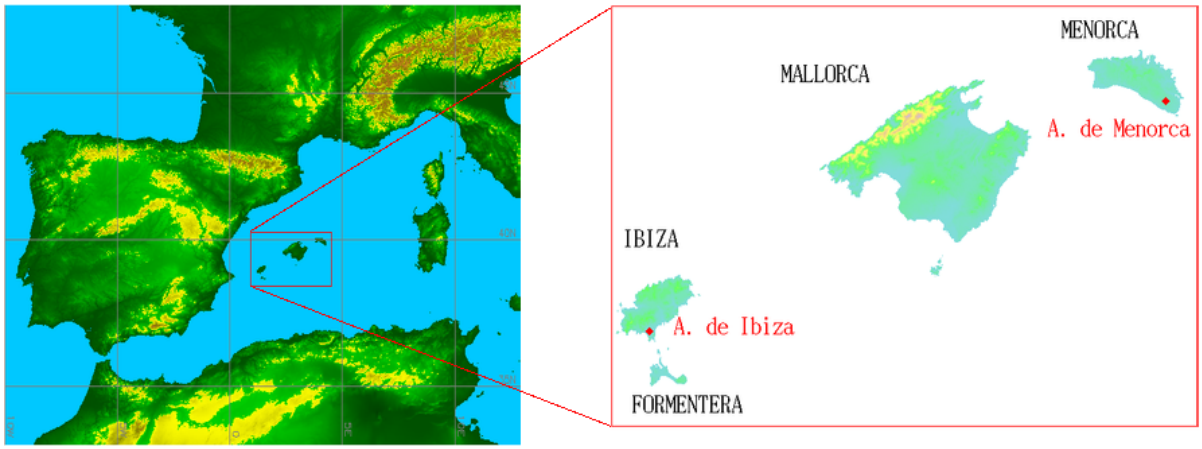

Fig. 1: Situación de los observatorios de los aeropuertos de Ibiza y Menorca, en el Mediterráneo Occidental.

Tabla 1: Diferencias URAD-HELI (horas), entre las horas de sol medidas por umbral irradiación directa (URAD) y por el heliógrafo Campbell-Stokes (HELI).

	Mín.	1er Q	Mediana	Media	3er Q	Máx.
A. de Menorca	-5,7	-1,5	-0,7	-0,973	-0,2	2,0
A. de Ibiza	-4,9	-1,10	-0,4	-0,580	0,0	2,7

Al aplicar una prueba de la t a las diferencias URAD-HELI de cada observatorio, se deduce que estas muestras pertenecen a poblaciones diferentes (con $\alpha < 0,001$), por lo que los promedios de diferencias hallados aquí podrían usarse para corregir valores medios de las series a las que pertenecen, pero no deberían ser utilizados para otros observatorios.

Los histogramas de la figura 2 nos muestran la distribución de las diferencias URAD-HELI, mientras que en la figura 3 se han representado las nubes de puntos de las horas de sol medidas por ambos sistemas. Tanto en una como en otra queda de manifiesto que las nuevas medidas son generalmente inferiores a las antiguas.

Hasta aquí se han analizado las diferencias de las medidas globalmente, aunque estas diferencias pueden depender de la época del año (es decir, de la mayor o menor insolación máxima teórica), o de la nubosidad reinante. Para determinar si existe algún grado de dependencia con estas variables, se han calculado los valores diarios de las horas de sol teóricas (HST, diferencias entre ocasos y ortos solares) y las insolaciones relativas (IR, cocientes entre la insolación, medida por umbral de irradiación directa, y las horas de sol teóricas, expresadas en tantos por ciento), y se han realizado análisis de regresión lineal múltiple, estimando las horas de sol HELI (medidas manuales) en función de las URAD (medidas automáticas), HST e IR. Los resultados se presentan en la tabla 2, a continuación de los de regresión lineal simple, también realizados, observándose en ella que mientras que el ajuste del aeropuerto de Menorca hace intervenir significativamente a las tres variables independientes ensayadas, el del aeropuerto de Ibiza, además de las medidas realizadas con el nuevo instrumento, sólo encuentra útiles los valores de insolación teórica (HST), y únicamente con un nivel de significación del 2,4 %. (Tampoco resulta significativo aquí el término independiente).

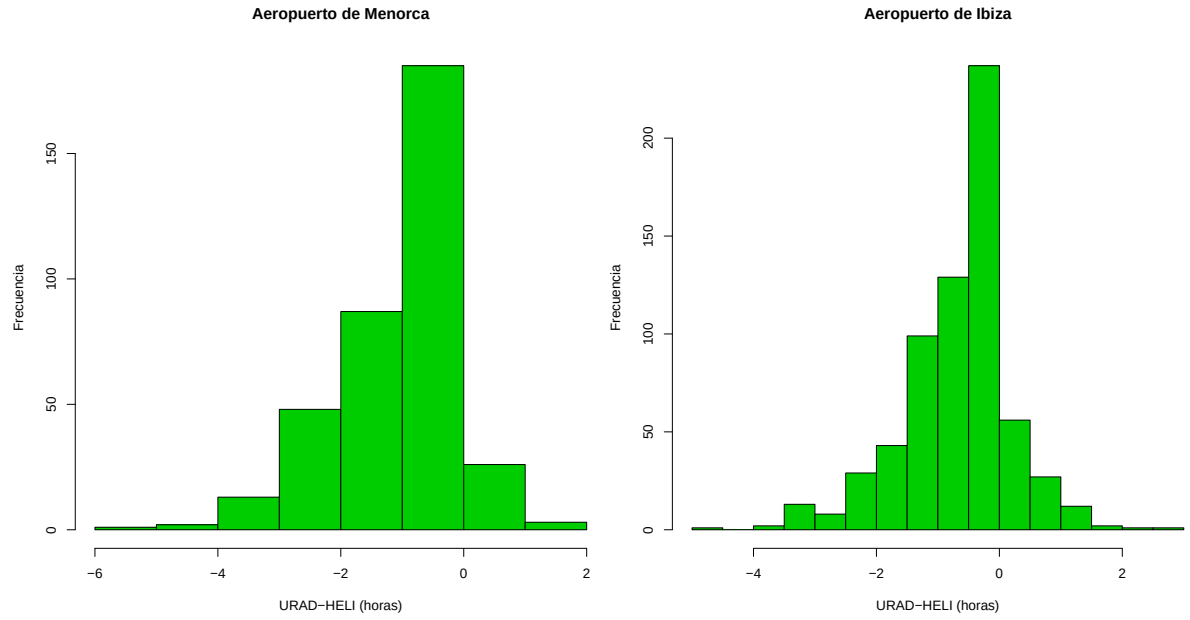

Fig. 2: Histogramas de las diferencias entre las horas de insolación medidas por el heliógrafo Kipp&Zonen (URAD) y el Campbell-Stokes (HELI), en los aeropuertos de Menorca e Ibiza.

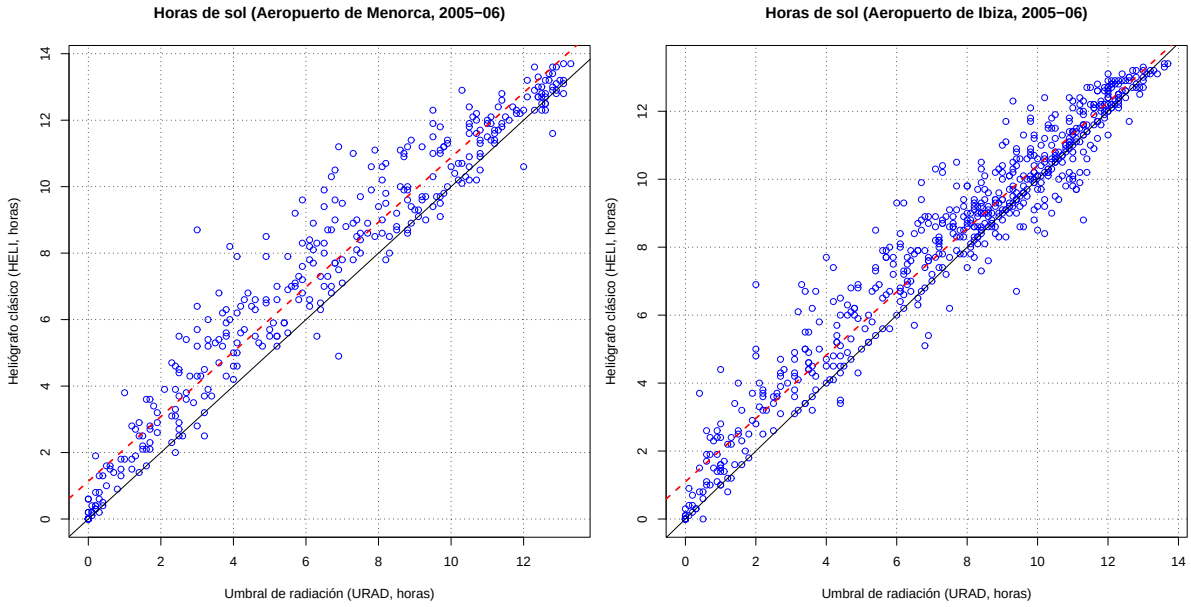

Fig. 3: Nubes de puntos de las medidas simultáneas de horas de insolación con ambos tipos de instrumentación. (Las diagonales negras indican la identidad, $y = x$, y a trazos rojos se han representado los ajustes de regresión simple).

Tabla 2: Estima de las medidas convencionales (manuales), mediante regresión lineal simple (arriba) y múltiple (abajo) con las nuevas medidas (URAD, automáticas), la insolación teórica (HST), y la insolación relativa (IR).

	Aeropuerto de Menorca				Aeropuerto de Ibiza			
	Coefic.	Err.típ.	t	p-valor	Coefic.	Err.típ.	t	p-valor
Térm. indep.	1,1344	0,098	11,56	<2e-16	1,0985	0,075	14,67	<2e-16
URAD (h)	0,9744	0,013	74,58	<2e-16	0,9308	0,009	104,32	<2e-16
Térm. indep.	-2,5338	0,683	-3,709	0,000241	-0,0613	0,542	-0,113	0,9099
URAD (h)	0,4874	0,100	4,856	1,79e-06	0,8467	0,070	12,064	<2e-16
HST (h)	0,3219	0,059	5,414	1,13e-07	0,1043	0,046	2,265	0,0239
IR (%)	0,0566	0,012	4,631	5,10e-06	0,0083	0,008	0,980	0,3272

Los coeficientes de determinación de estos ajustes han sido de 0,94 en los cuatro casos (regresiones simples y múltiples en ambos aeropuertos), lo que indica que las ecuaciones de regresión dan cuenta del 94 % de la varianza de las medidas del heliógrafo Campbell-Stokes. Los errores típicos de las estimas (de los valores diarios) han sido de 1,02 (regresión simple) y 0,98 horas (regresión múltiple) para el aeropuerto de Menorca, y de 0,87 y 0,86 horas para el de Ibiza. Por consiguiente, si bien la insolación máxima teórica y la insolación relativa (ésta, sólo en el caso de Menorca) intervienen en las ecuaciones de regresión con una elevada significación estadística, su aportación a la explicación de la varianza de las insolaciones medidas sobre banda de papel es inferior a un punto porcentual, y también es muy pequeña su influencia en la reducción del error típico de las estimas, por lo que las ecuaciones de regresión simple pueden usarse para homogeneizar las series de datos diarios casi con la misma fiabilidad que las de regresión múltiple.

Por otra parte, si construimos intervalos de confianza de los coeficientes de regresión con ayuda de sus errores típicos, concluiremos que estos coeficientes son significativamente diferentes, y por tanto estas ecuaciones no serán aplicables a otros observatorios distintos a los usados para generarlas. Nuevamente se pone de manifiesto la necesidad de realizar un cierto número de medidas simultáneas para poder valorar el impacto de un cambio de instrumentación como éste.

Diferencias como las encontradas aquí entre un tipo de medidas y otras cabe atribuirlas a la diferente metodología con que se han realizado. Si bien se estableció que el umbral de 120 Wm^{-2} de irradiación solar directa era el promedio a partir del cual se empieza a quemar la banda de papel en el heliógrafo de Campbell-Stokes, puede haber diferencias según el régimen de nubosidad y precipitaciones, así como del tipo de cartulina y grado de pigmentación empleado en cada caso (Painter, 1981; Helmes y Jaenicke, 1984). Una parte importante de la variación debe introducirla también la subjetividad de la evaluación manual de la duración de las marcas en las bandas de papel, sobre todo en casos de irradiación próxima al umbral de quemado, o cuando la nubosidad produce ocultaciones intermitentes del sol. En la figura 4 se incluye un ejemplo de ambos tipos de situación: En la banda superior hay una hora y media de trazo poco perceptible (una hora a la salida del sol, y media a la puesta), mientras que en la inferior puede apreciarse la dificultad de evaluar la duración de la insolación cuando marcas puntuales se funden en los bordes formando un trazo continuo, aunque sinuoso. (Las bandas son del observatorio agroclimatológico B691-Sa Canova, Sa Pobla, en el norte de Mallorca, y corresponden a los días 12, la superior, y 18, la inferior, de septiembre de 2007).

Es de suponer que las nuevas medidas serán más uniformes y comparables entre distintos observatorios que las antiguas, al ser totalmente objetivas, siempre y cuando los instrumentos se mantengan correctamente calibrados.

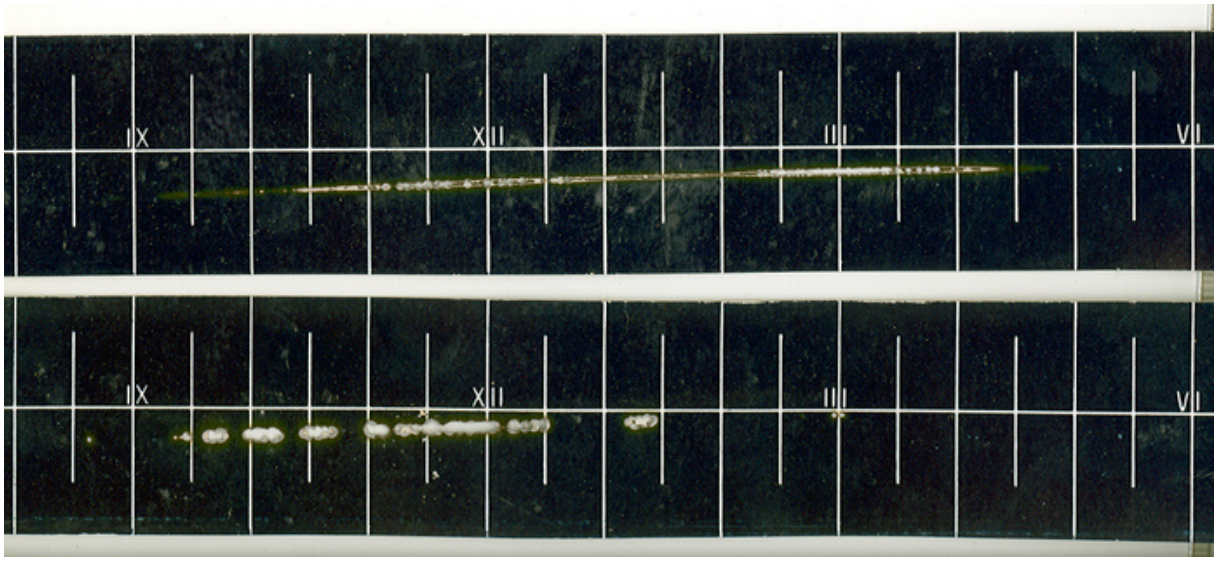

Fig. 4: Ejemplo de bandas de heliógrafo Campbell-Stokes donde la evaluación manual puede diferir bastante respecto al instrumento automático de Kipp&Zonen.

3. Conclusiones

Se ha comprobado que, en los dos observatorios en que se ha cambiado el método de medida de las horas de insolación, el impacto sobre las series es muy importante, alcanzando un promedio diario de 0,6 horas menos en el aeropuerto de Ibiza y 1,0 horas menos en el de Menorca, y totales anuales 212 y 355 horas inferiores a los antiguos, respectivamente.

Las ecuaciones de regresión para homogeneizar las series de insolación antiguas a partir de las nuevas medidas incluyen una dependencia significativa con la insolación máxima teórica en ambos observatorios, y también con la insolación relativa (relacionada con la nubosidad) en el caso del aeropuerto de Menorca. Sin embargo, la aportación de estas variables complementarias a la explicación de la varianza y a la reducción del error típico de las estimas es muy pequeña, por lo que las ecuaciones de regresión simple son una opción válida para la homogeneización de las series de datos diarios.

Los coeficientes de las ecuaciones de regresión simple y múltiple de ambos observatorios son significativamente diferentes, por lo que no son aplicables a localidades distintas a las que se han usado para generarlas. Deben, por consiguiente, realizarse ajustes *ad hoc* en cada caso, lo que implica la necesidad de efectuar medidas simultáneas durante un periodo suficientemente largo (de al menos dos años, según recomendaciones de la OMM).

Agradecimientos

He de agradecer a mis compañeros Germán Morant y Santiago Oliver, jefes de las oficinas meteorológicas de los aeropuertos de Ibiza y Menorca respectivamente, la recopilación y envío de las observaciones de horas de sol efectuadas en paralelo con el heliógrafo Campbell-Stokes. También agradezco los acertados comentarios de Arturo Sánchez Lorenzo y César Azorín, que han contribuido notablemente a la mejora de este artículo.

Bibliografía

Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J (2003): *Guidelines on climate metadata and homogenization.* WCDMP No. 53, WMO-TD No. 1186, World Meteorological Organization, Ginebra, 52 pp.

Almorox J, Hontoria C (2004): Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energ. Convers. Manage.*, 45:1529-1535.

Besancenot JP (1991): Clima y Turismo. Masson, Barcelona.

Black JN, Bonython C, Prescott JA (1954): Solar radiation and duration of sunshine. *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, 80:231.

Brázdil R, Flocas AA, Sahsamanoglou HS (1994): Fluctuation of sunshine duration in central and southeastern Europe. *Int. J. Climatol.*, 14:1017-1034.

Guijarro JA (1981): Primeras medidas de irradiación solar en Palma de Mallorca. Relación con la insolación. *Bol. Soc. Hist. Nat. Bal.*, 25:31-38.

Guijarro JA (1997): Irradiación solar en Baleares. *Bol. Mensual Climatológico* (I. Baleares), 54:121-128.

Helmes L, Jaenicke R (1984): Experimental verification of the determination of atmospheric turbidity from sunshine recorders. *Jour. of Climate and Appl. Meteor.*, 23:1350-1353.

Iqbal M (1983): An Introduction to Solar Radiation. Elsevier, New York, 390 pp.

Painter HE (1981): The performance of a Campbell-Stokes sunshine recorder compared with a simultaneous record of the normal incidence irradiance. *Meteor. Mag.*, 110:102-109.

Prescott JA (1940): Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. R. Soc. S. Austr.*, 64:114-118.

Sánchez Lorenzo A, Brunetti M, Calbó J, Martin-vide J (2007): Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized data set. *J. Geophys. Res.*, 112, D20115, 18pp.

Stanhill G, Cohen S (2005): Solar radiation changes in the United States during the twentieth century: Evidence from sunshine duration measurements. *J. Clim.*, 18:1503-1512.

WMO (2003): *Manual on the Global Observing System*. WMO-No. 544, Ginebra.