

# Tendencias recientes de la insolación en la España peninsular y Baleares (1971-2000)

## *Recent trends of sunshine duration in the peninsular Spain and Balearic islands (1971-2000)*

Javier Martín-Vide<sup>(1)</sup>, Josep Calbo<sup>(2)</sup> y Arturo Sánchez-Lorenzo<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Climatología, Universidad de Barcelona. [jmartinvide@ub.edu](mailto:jmartinvide@ub.edu) / [asanchezlorenzo@ub.edu](mailto:asanchezlorenzo@ub.edu). <http://www.ub.edu/gc/menu.htm>

<sup>(2)</sup>Grupo de Física Ambiental, Departamento de Física e Instituto de Medio Ambiente, Universidad de Girona. [josep.calbo@udg.es](mailto:josep.calbo@udg.es).

### SUMMARY

*Twenty homogeneous series of annual sunshine duration for the period 1971-2000, pertaining to first order weather stations (INM) in the peninsular Spain and Balearic islands, have been analyzed. The analysis has shown a clear positive trend for the total period. The average series obtained and the average of the z values for the 20 original series show significant positive trends of 48.8 h/decade and 0.35/decade respectively. Along the 30 years, however, two temporary behaviours are clearly differentiated: from 1973 till the early 80's, the trend is negative (what could be the signal of the phenomenon known as global dimming), while after that and till the end of the period, the trend is positive. Spectral analysis techniques (FFT, MESA) show two significant peaks of 5.3 and 2.5 years. On the other hand, the analyzed series are Gaussian, but they show some bimodality perhaps linked to the subgroups of years with NAOi positive and negative.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La insolación, entendida como el tiempo en que luce el Sol o existe radiación solar directa, independientemente de la intensidad con la que se reciben sus rayos, tiene un interés climático evidente, pues condiciona el régimen térmico diurno, contribuye a caracterizar los climas y tiene consecuencias directas sobre los seres vivos y las actividades económicas (Martín Vide y Moreno García 2001). Además, son numerosos los estudios que relacionan la insolación con la radiación global solar, variable fundamental a la hora de comprender los balances radiativos y energéticos desde escalas planetarias a microclimáticas, y que desafortunadamente cuenta con pocos observatorios donde se registre, y mucho menos con periodos de tiempo climáticamente significativos.

El estudio espacio-temporal de las series de insolación puede aportar información valiosa en el contexto actual del cambio climático (Houghton 2001), del cual quedan pocas dudas sobre el origen antrópico del mismo. Aun así, la mayor parte de los estudios han obviado variables climáticas tan importantes como la nubosidad o insolación, centrándose casi en exclusiva en la temperatura y la precipitación. Así, se ha constatado un aumento de  $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  en la temperatura media planetaria desde 1860 hasta finales del siglo XX, siendo para la España peninsular y Baleares superior a dicho valor (Castro et al. 2005). Respecto a la precipitación, todos los modelos GCM apuntan a unas reducciones apreciables en los totales para nuestro ámbito, debido al desplazamiento latitudinal hacia el norte del sistema de altas subtropicales, así como a un aumento de los episodios extremos (sequías e inundaciones). Parece ser que estos escenarios empiezan a constatarse (Alpert et al. 2002; Paredes et al. 2006), aunque en función del periodo de estudio que se analice dichas tendencias parecen difuminarse. Así, con series pluviométricas centenarias, sólo algunos observatorios situados en el sur de la Península Ibérica presentan tendencias descendentes significativas (Wheeler y Martín-Vide 1992; Esteban-Parra et al. 1998). Además, el intento de establecer tendencias estacionales o anuales en la precipitación en gran parte del territorio peninsular conlleva una dificultad notable, dado que la elevada variabilidad e irregularidad que la caracteriza hace necesaria la utilización de series muy largas y homogéneas para poder verificar cambios significativos.

En este contexto, los registros de insolación y de nubosidad pueden ayudar a despejar las incertidumbres existentes en la actualidad, aunque cuentan con el inconveniente de haber sido obtenidos con sistemas de medición subjetivos en ambos casos. Este aspecto se refleja, por ejemplo, en la casi ausencia de metodologías para estudiar la calidad y homogeneidad de sus series, a diferencia

de lo que ocurre con la temperatura o la precipitación, donde existen numerosas técnicas y metodologías para evaluarlas (Peterson et al. 1998; Aguilar et al. 2003), desde una perspectiva absoluta (interna de la propia serie estudiada) o relativa (comparando la serie estudiada con otras de su entorno).

En el presente trabajo, tras realizar una primera aproximación a la depuración y homogeneización de las series de insolación en España (1971-2000), mediante la aplicación de un test de homogeneidad absoluta, se realiza su análisis temporal y espectral de forma conjunta.

### 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Es conocida la reducción de la radiación solar incidente registrada entre los años 1960 y 1990 (conocida como "global dimming"), estimándose en una disminución de  $0.51 \text{ Wm}^{-2}$  por año a nivel global (Stanhill y Cohen 2001), aunque con importantes variaciones espaciales (Gilgen et al. 1998; Liepert 2002). Esta tendencia descendente se ha invertido en los últimos años para las latitudes medidas, y en la actualidad la tendencia es la contraria (Wild et al. 2005). El conocimiento de la variabilidad y tendencia de la radiación solar es fundamental por las importantes consecuencias físicas y biológicas que entraña, aunque se encuentra con la dificultad de la escasez de series, especialmente en países en vía de desarrollo (Bannani et al. 2006). De todas formas, se han realizado estudios que relacionan la insolación con la radiación solar (Iqbal 1983), obteniéndose resultados satisfactorios en diferentes partes del planeta (De Miguel et al. 1994; Stanhill y Cohen 2005; Bannani et al. 2006).

Por lo tanto, las series de insolación pueden jugar un papel fundamental para comprender mejor la evolución temporal de la radiación solar durante las últimas décadas. Debido a la generalización de los heliógrafos (Campbell-Stokes, Maring-Marving, etc.) a finales del siglo XIX por la red de observatorios mundiales, en la actualidad se cuenta para muchas partes del planeta con series de más de 100 años. Así, hay diversos estudios que se centran en la evolución temporal de la insolación durante las últimas décadas en diferentes puntos del planeta (Angell 1990; Pallé y Butler 2001; Niu et al. 2004; Huth y Pokorná 2005; Liang y Xia 2005; Moisselin y Canelas 2005; Stanhill y Cohen 2005; etc.).

Posiblemente, los registros de insolación en San Fernando (Cádiz) que se inician en 1881 pueden considerarse los primeros que se realizaron de forma regular en España (Wheeler 2001), utilizándose el heliógrafo de Campbell-Stokes (inventado por Campbell en 1853 y modificado por Stokes en 1879). Progresivamente este instrumento se fue instalando por el resto de los observatorios meteorológicos de primer orden del actual Instituto

Nacional de Meteorología. Se sabe que a mediados de la década de los 40 del siglo XX había medio centenar de observatorios provistos de heliógrafo (Biel 1963), aunque en la actualidad algunos de sus registros están sólo parcialmente digitalizados. La mayoría de las series que se encuentran en formato digital comienzan a principios de los años 50, siendo muy raro encontrarlas con anterioridad, aunque existen algunas excepciones en el País Vasco, Madrid, Comunidad Valenciana y Cataluña. Para esta última Comunidad Autónoma se cuenta con la serie más larga digitalizada en España (aparte de San Fernando), que corresponde al Observatori de l'Ebre (Roquetes, junto a Tortosa), que arranca en 1910 y llega hasta la actualidad sin cambios importantes en su emplazamiento.

La medición de la insolación o "número de horas de Sol" se realiza en España con el heliógrafo de Campbell-Stokes, sin que se hayan producido cambios en el modelo utilizado desde el inicio de las observaciones, a diferencia de lo ocurrido en otros países (Moisselin y Canellas 2005; Stanhill y Cohen 2005). Consta de una bola de cristal que lleva adosada una pequeña estructura metálica donde, día a día, se inserta una cartulina graduada en unidades de tiempo (minutos, horas,...). Los rayos solares, si hay radiación directa, son concentrados por la bola de cristal, que actúa a modo de lupa, sobre la cartulina, que, de esta manera, se chamusca. El movimiento aparente del Sol sobre el horizonte da lugar a una inscripción negra lineal, eventualmente interrumpida por la presencia de nubes. Tras la puesta de Sol, sumando las horas y fracciones de hora que corresponden a los trazos chamuscados se obtiene la insolación de la jornada. Según la WMO (1997), queda registrado el tiempo en el cual la radiación solar excede los  $120 \text{ Wm}^{-2}$ , que se corresponde aproximadamente con una altura del Sol sobre el horizonte superior a los  $3^\circ$  en condiciones de cielo sin nubosidad ocultando el disco solar.

Con todo, los registros de insolación han pasado prácticamente inadvertidos para la comunidad científica a la hora de estudiar la evolución temporal del clima en España durante las últimas décadas. El trabajo de Wheeler (2001) es el único localizado que intenta establecer una evolución temporal de la insolación durante las últimas décadas en dos estaciones del suroeste peninsular, San Fernando (1933-1995) y Gibraltar (1945-1995).

Aun así, hace años ya se relacionaban las series de insolación y radiación global, constatándose unas buenas correlaciones entre ambas variables, que permitían calcular con un aceptable margen de error una variable a partir de la otra (Núñez Espallargas y Pérez Pérez 1977). Con posterioridad han ido surgiendo estudios (De Miguel et al. 1994; Cancillo et al. 2005; etc.) que estiman totales de radiación solar a partir de series de insolación, utilizando preferentemente la fórmula de Ångström (1924) o variantes de la misma, como la de Prescott (1940). También, Pozo-Vázquez et al. (2004) ha demostrado la existencia de una correlación positiva entre los índices NAO y la insolación en la Península Ibérica, utilizando para ello los datos proporcionados por el ESRA (European Solar Radiation Atlas), que proporciona totales mensuales de horas de sol (desde 1981 a 1990) en 691 estaciones repartidas por el conjunto de Europa y proximidades.

### 3. BASE DE DATOS Y METODOLOGÍA

#### 3.1.- Datos de partida y test de homogeneidad. Series conjuntas

Se han analizado las series de insolación anual del período 1971 a 2000 (MMA 2000). En total se ha dispuesto de 59 observatorios meteorológicos con registros de insolación, de la red de primer orden del Instituto Nacional de Meteorología (INM), pertenecientes a la España peninsular y Baleares. De éstos, se han seleccionado los que presentaban menores lagunas (más de 27 años de mediciones), hecho que ha reducido las series iniciales a 35.

Dada la escasez de estudios sobre insolación en España, y la práctica inexistencia de metodologías específicas para detectar inhomogeneidades en las series de insolación en la bibliografía internacional, se ha optado por seleccionar las series que presentaban una mayor coherencia interna, con la finalidad de obtener el conjunto que pueda considerarse de mayor calidad y homogeneidad.

Por lo tanto, no se ha buscado en el presente trabajo el óptimo reparto espacial de las estaciones, ni se ha intentado corregir las series que presentaban alguna inhomogeneidad (descartándose simplemente de los análisis), pues el objetivo ha sido realizar un análisis preliminar del comportamiento temporal y espectral conjunto de la insolación anual en la España peninsular y Baleares, durante el treinteno 1971-2000.

Así, se ha optado por aplicar el conocido test no paramétrico de de Thom (1966), test de homogeneidad absoluta especialmente aconsejado por la Organización Meteorológica Mundial para datos con distribuciones no conocidas o no normales (Sneyers 1992). Aunque las series de insolación anual son ajustables, como se verá, mediante distribuciones gaussianas, y, por tanto, candidatas al empleo sobre ellas de tests paramétricos, la sencillez de cálculo del de Thom supone una ventaja en un análisis preliminar.

El test de Thom, de las rachas o las alternancias, consiste en contabilizar el número de rachas o tramos de la serie que quedan por encima y por debajo de la mediana. A partir del número de rachas, simbolizado mediante  $R$ , se calcula el cociente o estadístico  $Z$ :

$$Z = \frac{R - (n + 2) / 2}{\sqrt{n(n - 2) / 4(n - 1)}}$$

siendo  $n$  el número de datos de la serie.

Si  $|Z| < 2.58$ , la serie puede considerarse aleatoria y, por lo tanto, homogénea, al nivel de significación  $\alpha = 0.01$ , mientras que si  $|Z| < 1.96$ , lo es con  $\alpha = 0.05$ .

De las 35 series anuales disponibles, sólo 20 (Tabla 1) presentan un valor de  $|Z| < 1.96$ , es decir, que se puedan considerar homogéneas al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 1 - Coordenadas geográficas y altitud de los 20 observatorios meteorológicos finalmente seleccionados con series homogéneas de insolación anual. (Geographical coordinates and altitude for the 20 selected meteorological stations with homogeneous sunshine duration series).**

Nombre observatorio	Longitud (°)	Latitud (°)	Altitud (m)
San Sebastián "Fuenterrabía"	-1.79	43.36	8
Gijón	-5.64	43.54	3
Valladolid	-4.77	41.65	735
Navacerrada	-4.01	40.78	1890
Valladolid "Villanubla"	-4.85	41.70	846
Zamora	-5.73	41.52	656
León	-5.65	42.59	916
Salamanca "Matacán"	-5.50	40.95	790
Molina de Aragón	-1.89	40.84	1063
Madrid "Getafe-B. Aérea"	-3.72	40.30	617
Ciudad Real	-3.92	38.99	627
Badajoz-Talavera	-6.83	38.88	185
Granada "Aeropuerto"	-3.78	37.19	570
Sevilla "Aeropuerto"	-5.90	37.42	26
Almería "Aero"	-2.39	36.84	20
Albacete "B. Aérea"	-1.86	38.95	704
Castellón	-0.02	39.95	35
Logroño	-2.33	42.45	352
Zaragoza "Aero"	-1.01	41.66	247
Palma de Mallorca "Aero"	2.74	39.57	4

A partir de las 20 series, se han construido dos series conjuntas: una, la media de ellas, es decir, la serie promedio de los totales anuales de horas de sol de las 20 estaciones; y la segunda, la media de las 20 series previamente estandarizadas o normalizadas, o sea, la serie promedio de los valores  $z$ . Por tanto, en este segundo caso, se han hallado las medias y desviaciones tipo de cada una de las series, para luego restar a cada uno de los valores de partida la media anual

de su serie y el resultado dividirlo por la desviación tipo correspondiente, lo que produce 20 series de valores  $z$ . De esta forma se evita el mayor peso que en un cómputo global puedan tener los observatorios más asoleados.

En la obtención de las dos series conjuntas no se ha aplicado ninguna ponderación espacial, ya que las series originales son, de momento, pocas y no presentan un reparto suficientemente homogéneo por el territorio. En efecto, no hay ninguna estación en los sectores noroccidental y nororiental de la España peninsular que cumpla los requisitos indicados en la base de datos de partida, mientras que se ha trabajado con dos estaciones cercanas (Valladolid y Valladolid "Villanubla"). Aunque la aplicación de un Análisis de Componentes Principales (PCA) sin rotar y rotado (Varimax) a las series anuales (no mostrado) indica que existen diferentes patrones espaciales, la escasez de estaciones y el limitado número de años estudiados obligan a dejar dichos análisis para futuros trabajos en que el número de series disponibles sea mayor, con un mejor reparto espacial y temporal, y donde se pueda evaluar las diferencias estacionales y mensuales, además de las anuales. A pesar de las limitaciones indicadas, el interés del análisis aquí presentado radica en la notable concordancia entre los comportamientos heliométricos de los observatorios y en la significación de las pautas temporales conjuntas encontradas.

### 3.2.- Análisis temporales: tendencias y periodicidades

Para la detección de tendencias, se ha empleado el conocido  $t$ -test, prueba paramétrica que exige series con distribución normal y sin autocorrelación.

Se ha explorado también la posible existencia de algún ciclo o periodicidad en las series de insolación. Para ello, se ha aplicado a las dos series conjuntas, por una parte, el Maximum Entropy Spectral Analysis (MESA), mediante el paquete estadístico AnClim (Štípanek 2005), y, por otra, se ha usado el análisis de Fourier clásico. El MESA se basa en el espectro que corresponde a la serie temporal más aleatoria cuya función de autocorrelación se ajusta a los valores de partida. En el caso del análisis de Fourier, se ha eliminado la tendencia de las series para reducir la potencia espectral a frecuencias bajas, se ha añadido 0 para tener un número de datos que fuese potencia de 2, y se ha aplicado una rutina de transformada rápida de Fourier (FFT). El módulo de los coeficientes de la transformada obtenida, dividido por la longitud de la serie, es la potencia espectral, que se ha suavizado con un filtro de tres puntos, para parcialmente reducir el efecto de la longitud finita de la serie. La potencia espectral asignada a cada frecuencia (o período) permite identificar, como es sabido, los patrones principales de periodicidad en la serie.

## 4. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

### 4.1.- Evolución temporal de las series

Las series media (Fig. 1) y estandarizada (Fig. 2) conjuntas son normales, según el test de Kolmogorov-Smirnov, y presentan una evolución temporal similar, con una visible tendencia al alza en el período analizado. Así, el  $t$ -test da sendos incrementos positivos significativos ( $\alpha = 0.05$ ) de 48.8 h/década en la primera serie (regresión lineal,  $y = 4.8834x + 2480.0972$ ) y de 0.35/década en la segunda (regresión lineal,  $y = 0.0350x - 0.5318$ ). Estas tendencias conjuntas se aprecian también en prácticamente la totalidad de las 20 series individuales.

Aunque resulta arriesgado atribuir significación climática a subperíodos de un treintenio, llama la atención el aspecto cóncavo, realzado por el ajuste polinómico ( $y = 0.3625x^2 - 6.0824x + 2537.6$ ; coeficiente de correlación, 0.5259) y el filtro gaussiano de paso bajo, de las gráficas de las figuras 1 y 2. Tal forma, sobrepuesta a la tendencia general al alza, se debe a una evolución negativa entre 1973 y los primeros años de la década de los 80, que podría ser consistente con el fenómeno que se ha venido en llamar *global dimming*, relacionado con la abundancia de aerosoles. De todos modos, lo más notable en el caso objeto de estudio es la evolución claramente ascendente desde mediados de los años 80.

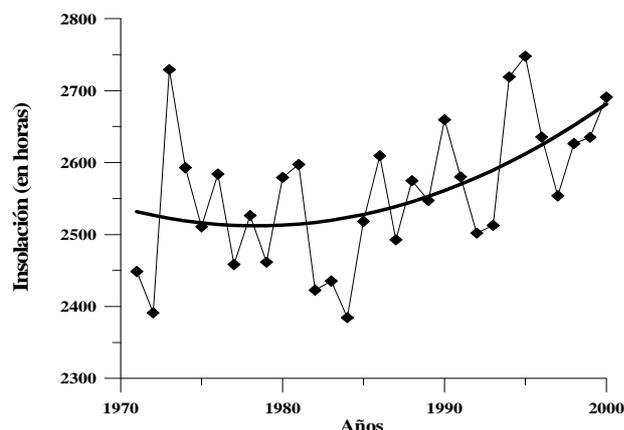


Figura 1 - Evolución temporal de la serie media de insolación anual de España (en horas), con un ajuste polinómico de grado 2. (Temporal evolution of the Spanish mean sunshine duration series -in hours-, with a 2-degree polynomial fit).

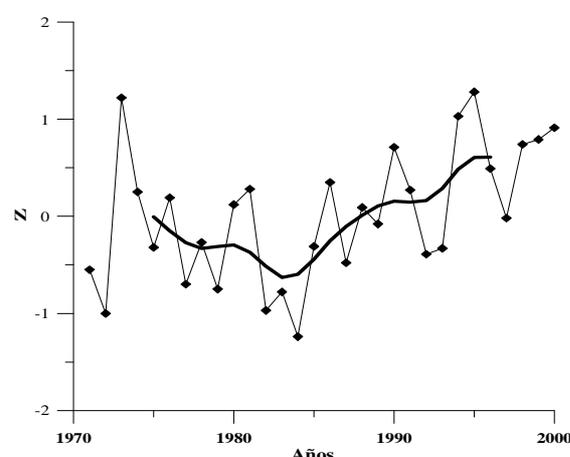


Figura 2 - Evolución temporal de la serie estandarizada de insolación anual de España, con un filtro gaussiano de paso bajo. (Temporal evolution of the Spanish standardised annual sunshine duration series, with a Gaussian low-pass filter)

### 4.2.- Análisis espectral FFT y MESA

En el caso del análisis espectral, se han identificado dos períodos con una cierta potencia espectral destacable. Tanto el MESA como la FFT detectan en las series analizadas periodicidades cercanas a los 2.5 años y a los 5.3 años (Fig. 3). En la figura 3 se representa la potencia espectral multiplicada por la frecuencia, de forma que, al utilizar un eje de abscisas logarítmico, el área por debajo de la curva representada se corresponde con la energía espectral. Según el MESA, el segundo período es significativo al 95%. No es sencillo identificar las causas de ninguna de las dos periodicidades, aunque la primera podría tener que ver con la oscilación cuasibienal (QBO), que, a pesar de producirse en la estratosfera, presenta conexiones con fenómenos troposféricos (Reed 1966; Garcia et al. 1997). No deja de sorprender que el ciclo solar más conocido (de 11 años) no se manifieste en las series de insolación analizadas. Podría deberse en parte a la limitación temporal de la serie (30 años no llegan a cubrir tres de dichos ciclos). Por otra parte, no es la primera vez que se describen ciclos de unos 5-6 años en series climáticas (Lana et al. 2005), que podrían estar relacionadas con ciclos similares en la actividad solar (Kane 1999).

## 5. CONCLUSIONES

De entre las 59 series de insolación anual (período 1971-2000) que aparecen en el resumen climático del INM (MMA 2002), 35 contienen más de 27 años con datos, y de ellas, 20 superan el test de homogeneidad de Thom. Con éstas, se han construido dos series conjuntas: la de las medias y la de las medias estandarizadas. Ambas series conjuntas han sido analizadas para detectar tendencias temporales y periodicidades. En lo que se refiere a las tendencias, se

obtiene un aumento significativo de la insolación para toda la serie (de casi 50 h por década), aunque este aumento es más importante en la segunda mitad de la serie, ya que hasta el principio de los años 80 la insolación parecía disminuir. Y en referencia a las periodicidades, dos técnicas distintas (FFT y MESA) han dado el mismo resultado: las series presentan una variabilidad importante con períodos de 2.5 y 5.3 años.

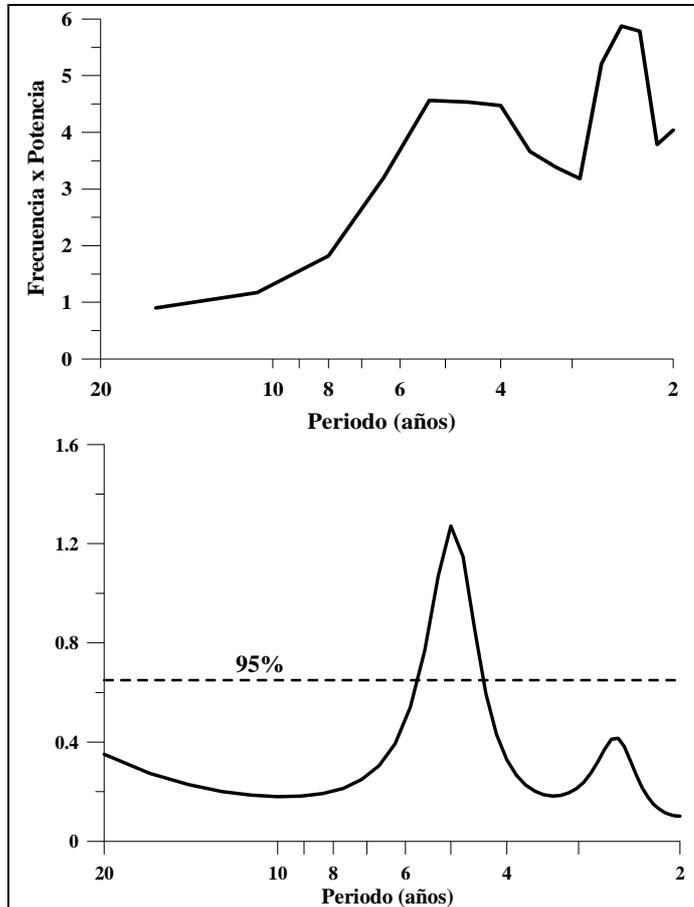


Figura 3- Gráficos de la transformada rápida de Fourier (arriba) y del MESA (abajo) de la serie estandarizada de insolación anual de España. (Graphs of the FFT –top- and of the MESA –bottom- applied to the Spanish standardised sunshine duration series)

### Agradecimientos

A Petr Štěpánek por proporcionarnos el programa AnClim y al Instituto Nacional de Meteorología (INM) por los datos empleados en los análisis.

La presente investigación se ha realizado en el marco del proyecto NUCLIER (CGL2004-02325), financiado por el MEC (<http://copernic.udg.es/gfa/nuclier/nuclier.htm>). Igualmente, uno de los autores disfruta de una beca predoctoral FPU del mismo ministerio.

### REFERENCIAS

Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T.C. Peterson and J. Weringa (2003): *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*, World Climate Programme Data and Monitoring, WMO-TD no. 1186, Geneva, 51 pp.

Alpert, P., T. Ben-Gai, A. Baharad, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M. Colacino, L. Diodato, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides and A. Mases (2002): "The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values". *Geophysical Research Letters*, **29**, 11, 10.1029 / 2001GL013554.

Angell, J. K. (1990): "Variation in United States cloudiness and sunshine duration between 1950 and the drought year of 1989". *Journal of Climate*, **3**, 296-308

Angström, A. (1924): Solar and terrestrial radiation. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **50**, 121-131.

Bannani, F.K., T.A. Sharif and A.O.R. Ben-Khalifa (2006): "Estimation of monthly average solar radiation in Libya". *Theoretical and Applied Climatology*, **83**, 211-215.

Biel, A. (1963): "Nubosidad de insolación". *Boletín Mensual Climatológico*, **6**, 2-9. Servicio Meteorológico Nacional, Ministerio del Aire.

Cancillo, M.L., A. Serrano, A. Ruiz, J.A. García and J.M. Vaquero (2005): "Solar Global Radiation and Sunshine Duration in Extremadura (Spain)". *Physica Scripta Online*, **T118**, 24.

Castro, M., J. Martín-Vide y S. Alonso (2005): "El clima de España: pasado, presente y escenarios del clima para el siglo XXI". En MORENO, J.M. (Coord.): *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*.1-64, Ministerio de Medio Ambiente.

De Miguel, A., J. Bilbao, S. Salson and A. Lage (1994): "Solar radiation and sunshine hours maps in Castilla and Leon region (Spain)". *Renewable Energy*, **4**, 8, 933-940.

Esteban-Parra, M.J., F.S. Rodrigo and Y. Castro-Diez (1998): "Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992". *International Journal of Climatology*, **18**, 1557-1574.

García, R. R., T. J. Dunkerton, R. S. Lieberman and R. Vincent (1997): "Climatology of the semiannual oscillation of the tropical middle atmosphere". *Journal of Geophysical Research*, **102**, 26019-26032.

Gilgen, H., M. Wild and A. Ohmura (1998): "Means and trends of shortwave irradiance at the surface estimated from Global Energy Balance Archive data. *Journal of Climate*, **11**, 2042-2061.

Houghton J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguier, P.J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds) (2001): *Climate Change 2001. The scientific basis*. Cambridge University Press, UK, 994 pp.

Huth, R. and L.Pokorná (2005): "Simultaneous analysis of climatic trends in multiple variables: an example of application of multivariate statistical methods". *International Journal of Climatology*, **25**, 469-484.

Iqbal, M. (1983): *An introduction to solar radiation*. Academic Press. 390 pp.

Kane, R.P (1999): "Prediction of the sunspot maximum of solar cycle 23 by extrapolation of spectral components". *Solar Physics*, **189**, 217-224.

Lana, X., M.D. Martínez, C. Serra and A. Burgueño (2005): "Periodicities and irregularities of indices describing the daily pluviometric regime of the Fabra Observatory (NE Spain) for the years 1917-1999". *Theoretical and Applied Climatology*, **82**, 3-4, 183-198.

Liang, F. and X.A. Xia (2005): "Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961-2000". *Annales Geophysicae*, **23**, 2425-2432.

Liepert, B.G. (2002): "Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1999. *Geophysical Research Letters*, **29**, 1421, doi: 10.1029/2002GL014910.

Martín Vide, J. y M.C. Moreno García (2001): "Determinación de la insolación a partir del número de días de cielo despejado y de cielo cubierto en España". En Manero, F. (Coord.): *Espacio natural y dinámicas territoriales*, 265-274, Valladolid, Universidad de Valladolid.

MMA (2002): *Valores normales y estadísticos de observatorios meteorológicos principales (1971-2000)*. Vols.1-6. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología.

Moisselin, J.M. and C. Canellas (2005): "Longues series d'insolation homogénéisées en France". *Comptes Rendus Geoscience*, **337**, 729-734.

Niu, T., L. Chen and Z. Zhou (2004): "The Characteristics of Climate Change over the Tibetan Plateau in the Last 40 Years and the Detection of Climatic Jumps". *Advances in Atmospheric Sciences*, **21**, 2, 193-203.

Núñez Espallargas, J.M. y Pérez Pérez, J. (1977): *Distribución del balanç de la radiació a Catalunya*. Institut D'Estudis Catalans, Arxius de la Secció de Ciències. LVI. 122 pp.

Palle, E., and C. J. Butler, 2001: "Sunshine records from Ireland: Cloud factors and possible links to solar activity and cosmic Rays". *International Journal of Climatology*, **21**, 709-729.

Paredes, D., R.M. Trigo, R. Garcia-Herrera, I.F. Trigo (2006): "Understanding precipitation changes in Iberia in early Spring: weather typing and storm-tracking approaches". *Journal of Hydrometeorology* (in press).

Peterson, T.C. and Coauthors (1998): "Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review". *International Journal of Climatology*, **18**, 1493-1517.

Pozo-Vázquez, D., J. Tovar-Pescador, S.R. Gámiz-Fortis, M.J. Esteban-Parra and Y. Castro-Diez (2004): "NAO and solar radiation variability in the European North Atlantic region". *Geophysical Research Letters*, **31**, L05201, doi: 10.1029/2003GL018502.

Prescott, J.A. (1940): "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, **64**, 114-118.

Reed, R. J. (1966): "Zonal wind behavior in the equatorial stratosphere and lower mesosphere". *Journal of Geophysical Research*, **71**, 4223-4233.

Sneyers, R. (1992): "On the use of statistical analysis for the objective determination of climatic change". *Meteorologische Zeitschrift*, **1**, 247-256.

Stanhill, G. and S. Cohen (2001): "Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences". *Agricultural and Forest Meteorology*, **107**, 255-278.

Stanhill, G., and S. Cohen (2005): "Solar Radiation Changes in the United States during the Twentieth Century: Evidence from Sunshine Duration Measurements". *Journal of Climate*, **18**, 1503-1512.

Štěpánek, P. (2005): *AnClim - software for time series analysis (for Windows)*. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.

Thom, H.C.S. (1966): *Technical Report No. 81*, WMO, Geneva.

Wheeler, D. (2001): "Factors governing sunshine in south-west Iberia: A review of western Europe's sunniest region". *Weather*, **56**, 6, 189-197.

Wheeler, D. and J. Martín-Vide (1992): "Rainfall characteristics of Mainland Europe most Southerly Stations". *International Journal of Climatology*, **12**, 69-76.

Wild, M., H. Gilgen, A. Roesch, A. Ohmura, C.N. Long, E.G. Dutton, B. Forgan, A. Kallis, V. Russak, and A. Tsvetkov (2005): "From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at Earth's Surface". *Science*, **308**, 847-850.

WMO (1997): Measurement of sunshine duration. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, 6<sup>th</sup> ed., World Meteorological Organization.