

# LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO COMO ESCENARIO DE FONDO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

José QUEREDA SALA, Enrique MONTÓN CHIVA, José ESCRIG BARBERA  
*Laboratorio de Clima, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universitat Jaume I*  
quereda@his.uji.es, montone@his.uji.es, escrigj@his.uji.es

## RESUMEN

El análisis de la evolución térmica mediterránea ha mostrado que el proceso de generación de calor urbano, se inserta como un verdadero *trojano* en los estudios del calentamiento climático. Un sutil proceso que, entre otros, determina que todo cuanto se pueda modelar y predecir hacia el futuro estará expuesto a grandes errores si no se parte de nuestros actuales conocimientos de los climas pasados. Paleoclimas regidos por el factor esencial de la Radiación Solar. Consecuentemente, no podemos descartar que las anomalías climáticas registradas en las últimas décadas sean la respuesta del sistema atmosférico a un proceso de retorno, muy regular y de modo paralelo a la actividad solar, a las condiciones climáticas previas a la crisis de la Pequeña Edad de Hielo. El mejor fundamento de esta atribución ha sido el análisis de la evolución térmica en los principales observatorios polares del Atlántico Norte.

**Palabras clave:** Evolución térmica, calor urbano, radiación solar, Pequeña Edad del Hielo, observatorios polares, Atlántico Norte.

## ABSTRACT

The analysis of the Mediterranean temperature evolution has shown that the process of urban heat generation is a true Trojan inserted in studies of global warming. A subtle process that, inter alia, determines that all that we can model and predict for the future will be exposed to large errors if we don't bear in mind our present knowledge of past climates. paleoclimates governed by the essential factor of Solar Radiation, ultimate source of energy that governs all nature. Consequently, we can not exclude that climate anomalies recorded in the last decades are the response of the atmospheric system to a process of return, very regular, and parallel to the solar activity, to the weather conditions prior to the crisis of the Little Age ice. The best basis of this allocation has been the analysis of the temperature evolution in the main North Atlantic polar observatories.

**Key Words:** Temperature evolution, urban heat, solar radiation, Little Ice Age, polar observatories, North Atlantic

## 1. LA INQUIETUD ACTUAL ANTE LA HIPÓTESIS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Súbitamente toda nuestra seguridad se ha conmovido. Las anomalías climáticas globales detectadas a lo largo de las tres últimas décadas han llevado a interrogarnos sobre la causa y perspectivas futuras de las mismas. En el eje de estas anomalías se halla la observación de que, desde principios del siglo XIX, se viene asistiendo al final de la época fría que caracterizó al clima mundial entre los siglos XIV y XVIII. Los datos mejor establecidos, en *grids* hemisféricos y globales, comprenden ya el análisis de 2.666 estaciones, de las que 118 comenzaron en 1860 y 509 en 1900 para el Hemisferio Norte, mientras que en el Hemisferio Sur, el estudio se realiza sobre 610 estaciones si bien tan sólo siete de ellas se inician en 1860 y 45 en el comienzo del siglo XX (WILSON and JANSEN, 1994; JONES *et al.*, 2000; QUEREDA *et al.* 2000; IPCC Working Group, 2007). Estos análisis permiten afirmar que, a partir de 1880, la mayor parte de los observatorios mundiales han registrado una elevación térmica. Este aumento de las temperaturas en el Hemisferio Norte, durante todo el siglo XX, ha sido estimado en 0.7 y 0.8 °C. tratando de corregir en lo posible el efecto generalizado de la urbanización, proceso que suscita serias interrogantes.

## 2. LA EVOLUCIÓN TÉRMICA MEDITERRÁNEA Y SUS INCERTIDUMBRES

La evolución de la temperatura en la región mediterránea española (Fig.1) pone en evidencia una tendencia significativa de calentamiento climático.

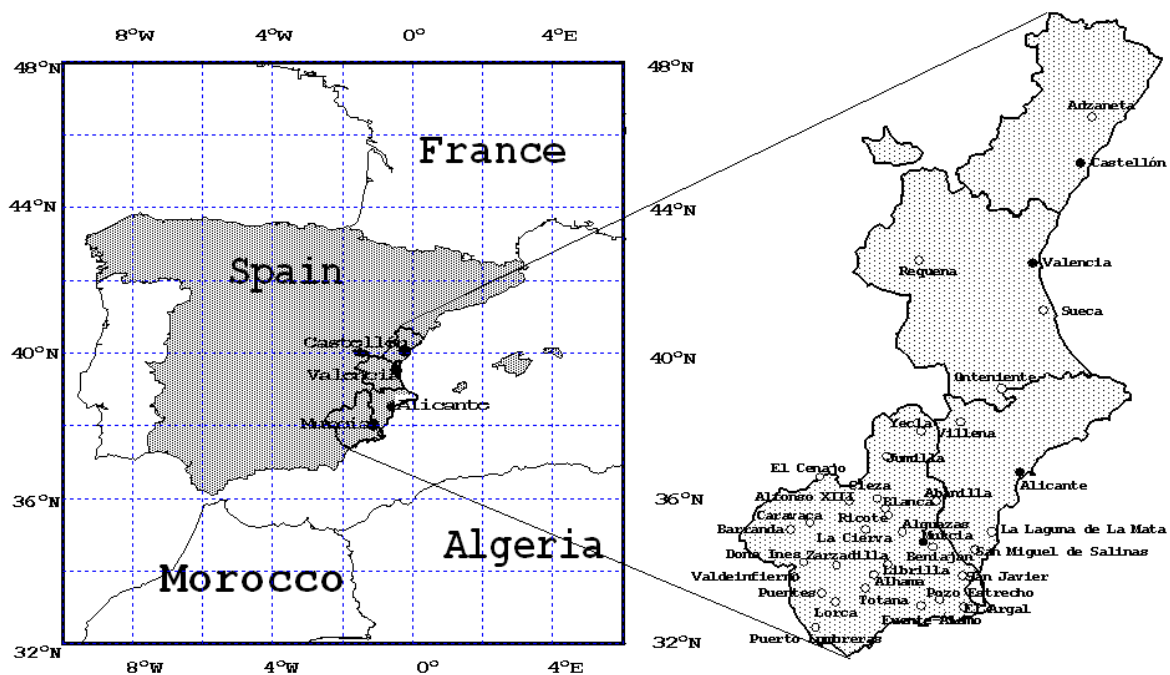


Fig. 1: Mapa de los observatorios regionales utilizados en el análisis (1950-2008).

A este respecto, tras el complejo y laborioso proceso de homogeneización y corrección de heterogeneidades (ALEXANDERSSON and MOBERG, 1997; EASTERLING and PETERSON, 1992), podemos estimar que el valor secular de esta tendencia sería notable, 0.017, equivalente 1 °C para el período 1950-2008 (Fig. 2).

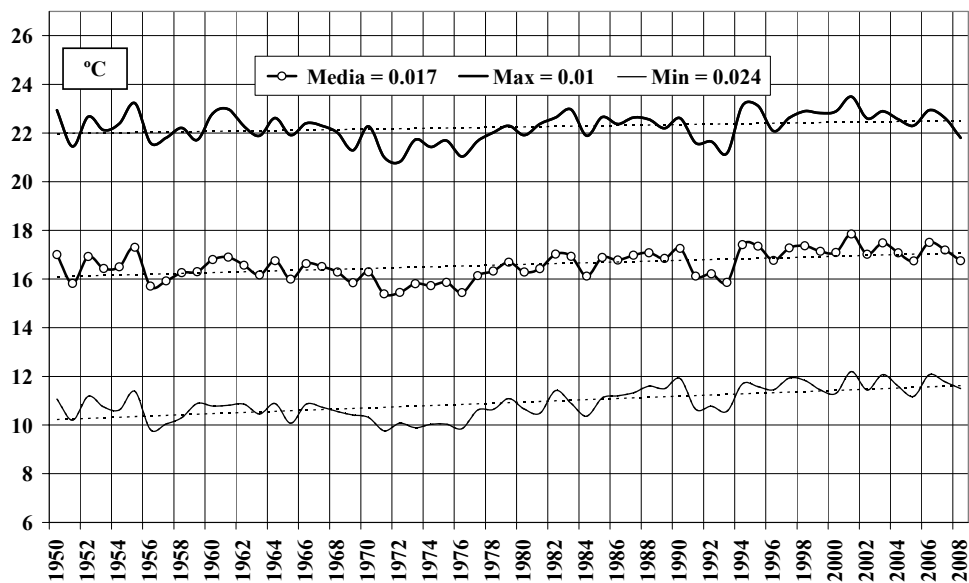


Fig. 2: Evolución y tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y medias en los 37 principales observatorios de las regiones de Valencia y de Murcia.

Sin embargo tanto el diferente comportamiento de las temperaturas máximas y las mínimas, con la mayor parte de la elevación térmica en las temperaturas mínimas, 1.4 °C frente a tan sólo 0.6 °C, en las temperaturas máximas, como la diferente magnitud del calentamiento registrado entre observatorios muy próximos (Fig. 3), han venido suscitando dudas sobre la naturaleza del cambio, antropogénico o natural (QUEREDA *et al.*, 2000).

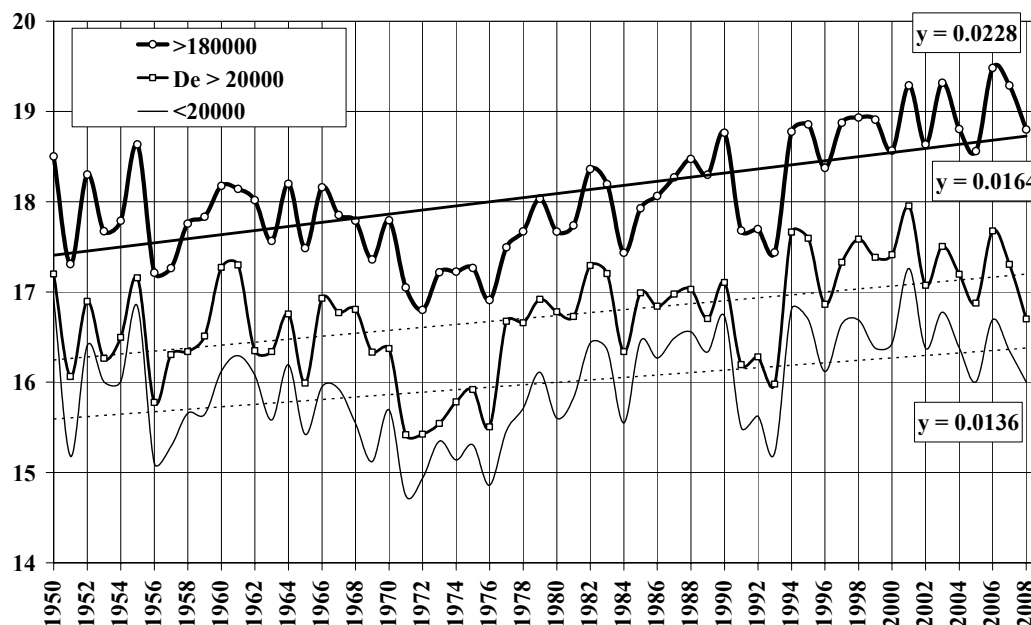


Fig. 3: Evolución y tendencia de la temperatura media anual en los 5 observatorios urbanos de Murcia, Elche, Alicante, Valencia y Castellón así como en los restantes observatorios “más rurales”, (de 80.000 a 20.000 habitantes y menores de 20.000 habitantes) Fuente: INM, y homogeneización propia.

De este modo, la evolución térmica registrada refuerza la convicción de que el proceso de generación de calor urbano permanece como una de las principales incertidumbres de la hipótesis de cambio climático. No es para menos por cuanto que esta hipótesis científica se ha fundamentado en los registros de los observatorios históricos. Unos observatorios que, caso de los mediterráneos, establecidos a fines del XIX en la periferia de las ciudades, han venido siendo englobados progresivamente por el crecimiento de las mismas, con efectos que es preciso detectar ya que pueden estar enmascarando las auténticas tendencias climáticas. Consecuentemente, este proceso de generación de calor urbano se inserta como un verdadero “troyano” en el análisis de la evolución térmica.

### **3. ¿NOS ENFRENTAMOS A UN PROBLEMA REAL DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PRÓXIMOS AÑOS?.**

En el estado actual de las investigaciones resulta todavía muy aventurado afirmar la existencia de un *cambio climático global por el efecto invernadero*, al menos en la naturaleza y magnitudes significadas. Faltan todavía muchos estudios que unan juiciosamente todas las anomalías climáticas observadas y expliquen las numerosas debilidades e interrogantes que presenta la actual hipótesis del cambio climático global. Por ello, y a pesar de la formidable aportación de los modelos cerrados atmósfera-océano, como los empleados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, todo cuanto se pueda modelar y predecir hacia el futuro estará expuesto a grandes errores si no se parte de nuestros actuales conocimientos de los climas pasados. Aquí, el pasado actúa como llave del presente y su estudio permite dar cierta satisfacción a nuestras interrogantes actuales.

### **4. Y ¿QUÉ REVELA EL PASADO CLIMÁTICO DEL GLOBO?**

Ante todo que el clima mundial no ha sido siempre idéntico al presente. Sin remontarnos a las variaciones geológicas o a las de época glacial, nuestro telón climático de fondo más reciente viene constituido por el notable enfriamiento registrado entre los siglos XIV y XVIII. Un período que incluso ha sido denominado Pequeña Edad Glacial o de Hielo y en el que las temperaturas medias fueron entre 1 ó 2 °C inferiores a las actuales. Este sería precisamente el escenario climático de fondo, sobre el que se proyectan las actuales preocupaciones e inquietudes por el calentamiento actual. La causa de esta crisis climática fue natural y radicó en el notable descenso de la actividad solar. Un hecho que aparece demostrado, en los registros del radiocarbono,  $C^{14}$ , y de los isótopos de oxígeno  $O^{18}$  en las muestras de hielo ártico y en la gran laguna de anillamiento por debilidad de fotosíntesis en los bosques de coníferas de las regiones boreales.

En este orden de conocimientos, las referencias de los mejores especialistas indican que, en Europa Occidental, los siglos IX a XIII soportaron una temperatura benigna y suave, el Óptimo Climático medieval. En cambio, a partir del siglo XIV y hasta principios del XIX se desarrolló un período más frío que, al coincidir con el máximo avance de los glaciares alpinos, ha recibido el apelativo de «Pequeña edad glacial o de hielo» (PEH). Denominación, quizás exagerada, si bien la acumulación de datos en las crónicas y relatos históricos es tal, que hoy resulta ya excesivamente cauteloso el dudar de las tendencias frías del período secular XIV-XVIII. Máxime han permitido confirmar esa pulsación climática fría (MANLEY, 1974; DETTWILLER, 1978; GROVEL and BATTAGEL, 1983).

En las tierras valencianas, no existen registros sistemáticos de temperatura hasta mediados del siglo XIX, sin embargo, no faltan datos fenológicos que evoquen esa frialdad del clima entre los siglos XIV a XVIII. Entre 1506 y 1789, se han documentado siete casos de congelación de las aguas del río Ebro. En los años 1788 y 1789, la congelación duró quince días, hecho que no ha vuelto a suceder. Asimismo la Pequeña Edad de Hielo aparece atestiguada, en nuestra región mediterránea, por una frenética actividad en torno al comercio de la nieve y el hielo con la construcción de una grandiosa red de neveras y molinos: nieves y aguas (QUEREDA *et al.*, 1999).

## 5. ¿CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO O SOLAR?.

En el actual estado de las investigaciones, no podemos descartar que las anomalías climáticas registradas en las últimas décadas sean la respuesta del sistema atmosférico a un proceso de retorno, muy regular y de modo paralelo a la actividad solar, a las condiciones climáticas previas a la crisis de la Pequeña Edad de Hielo. Entre otros argumentos, los análisis de la evolución térmica en los principales observatorios polares del Atlántico Norte muestran su estrecha dependencia de la actividad solar. De ahí que la previsión de un próximo ciclo solar undecenal de baja magnitud pueda aportar importantes enseñanzas a la hipótesis de cambio climático.

Al margen de los cambios orbitales de escala milenaria, la Radiación Solar también ha mostrado variaciones de escala temporal inferior que podrían explicar cambios climáticos menores o de más breve duración, de escala secular o semisecular, como los detectados actualmente. En esta escala, las variaciones de la energía solar pueden venir asociadas a las alteraciones energéticas impuestas por las secuencias de ciclos máximos y ciclos mínimos de las manchas solares. Estas alternancias corresponderían así a periodos con alta actividad solar y a otros con baja actividad solar.

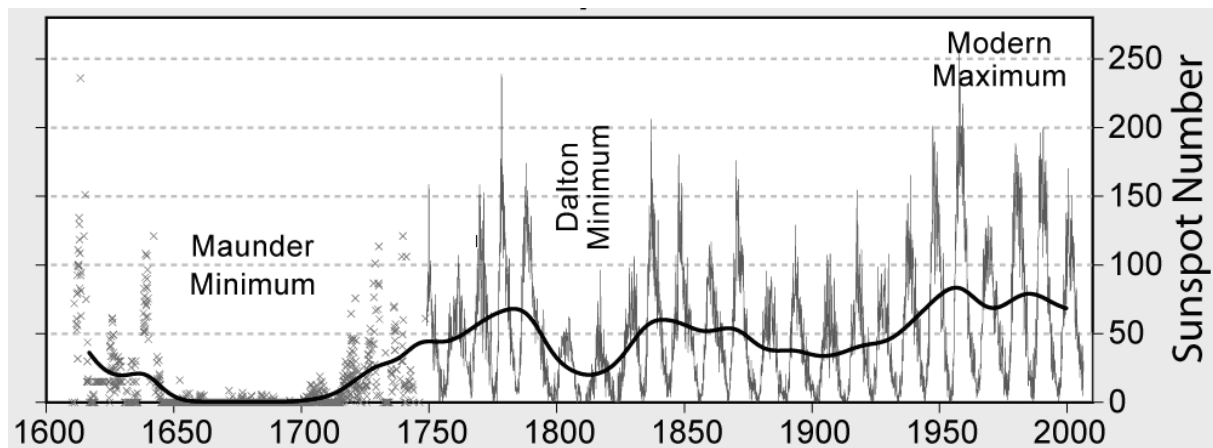


Fig. 4: Evolución del número de manchas solares durante los últimos 400 años. (Royal Greenwich Observatory, WDC, World Data center, USAF/NOAA Sunspot Data)

Durante las fases solares formadas por ciclos con gran número de manchas, el flujo solar es más intenso. Por el contrario, las fases con poco número de manchas corresponden a periodos de menor flujo solar y de subsiguiente enfriamiento. La mejor y más reciente prueba de ello es lo sucedido durante la Pequeña Edad de Hielo. Incluso ya en su última fase, siglos XVII y

XVIII, el sol atravesó una etapa de escasa actividad. Maunder, en 1922, puso de manifiesto que el periodo de 1645 a 1715 supone el más escaso de manchas solares de toda la observación (Fig.4). Tan escasa fue la actividad solar que ha marcado una gran laguna en el crecimiento anular de los troncos arbóreos tal y como sorprendió a Douglas el creador de la Dendrocronología. Observaciones que han sido corroboradas por el análisis del  $^{14}\text{C}$  en los anillos de crecimiento, que muestran un menor contenido de carbono 14 durante las fases de menor radiación y pocas manchas.

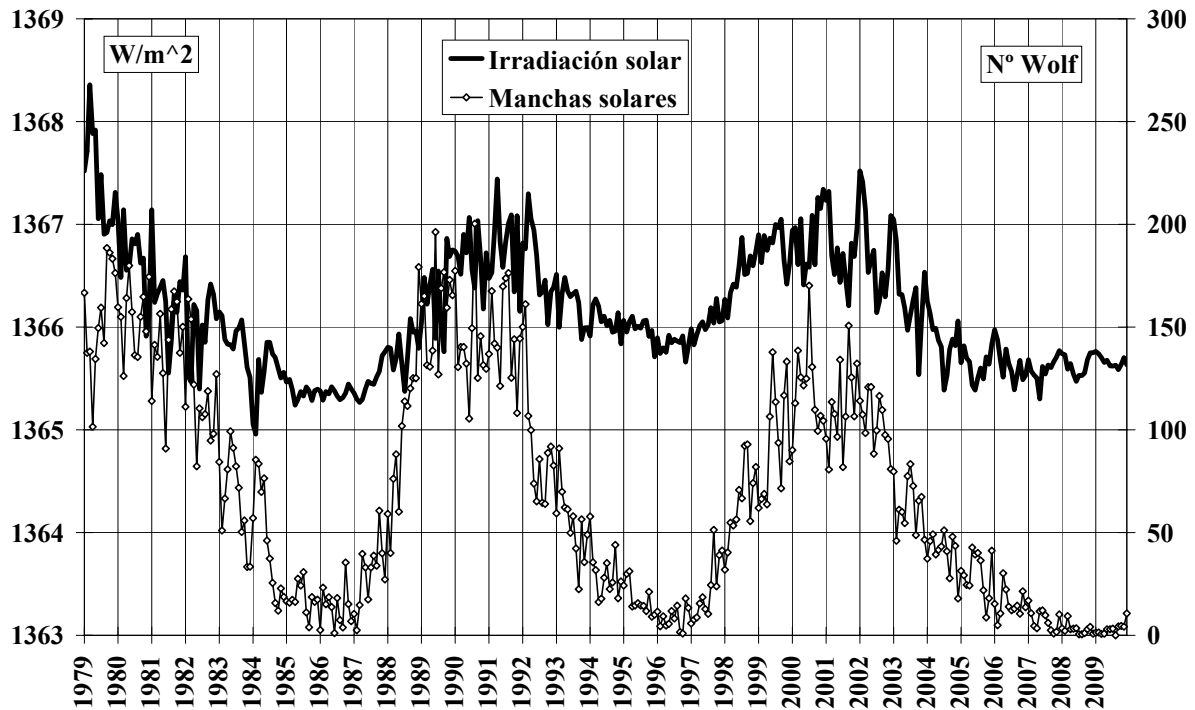


Fig. 5: Evolución del número de manchas solares y de la actividad solar medida por satélite entre 1979 y 2008. Fuente: National Geophysical Data Center y elaboración propia.

Esta constante solar, debidamente integrada a lo largo de todo el año a través de las imágenes visibles del satélite MSG en la cara iluminada del planeta, da un flujo solar medio anual de  $340 \text{ Wm}^2$  en la cima de la atmósfera terrestre. Esta es la energía incidente responsable de la temperatura del planeta y que, consecuentemente podría estar experimentando variaciones de entre  $3$  y  $3.5 \text{ W/m}^2$ , paralelamente a la evolución de los ciclos solares. Ello equivaldría a una reducción térmica de hasta  $3 \text{ }^\circ\text{K}$ . En términos del número de Wolf, esa diferencia térmica se establecería entre un valor 200 y un valor 0.

En las observaciones reales, especialmente durante los tres últimos siglos, las fases de manchas solares vienen ofreciendo una tendencia de crecimiento. Esta tendencia ha sido de hasta 60 en el número de Wolf en el periodo 1642-2007. Ello supone incrementos térmicos de hasta  $0.9\text{-}1 \text{ }^\circ\text{K}$  en ese periodo suprasedecular. De tal modo que este *forcing* térmico de la actividad solar podría explicar así una parte no despreciable de los incrementos térmicos regionales y mundiales observados.

## 5. 1. El fundamento del ecosistema helado actual sobre la evolución natural del clima.

El mejor apoyo de esta tesis se establece mediante el análisis de la evolución térmica registrada en las temperaturas polares del Atlántico Norte. Estas temperaturas corresponden al promedio de siete observatorios excepcionales por su posición en latitud y por la longitud de series. Tres de estos observatorios están en Islandia (Akureyri, Teigarhorn y Stykkishólmur) y los otros cuatro en Noruega (Vardo, Karasjok, Glomfjord y Longyearbyen), con series de observaciones térmicas centenarias. El de mayor longitud es el observatorio islandés de Stykkishólmur que comenzó sus observaciones en 1830 y el más septentrional el de Longyearbyen (78 °N, islas Svalbard). La correlación entre todos ellos es elevada. El mismo observatorio de Stykkishólmur se mantiene entre 0.44 y 0.93 con el resto de observatorios. Asimismo, el test de Student muestra que la probabilidad de correlación,  $t < 0.0001$ , sitúa a Stykkishólmur en una alta significación estadística con el resto de observatorios polares. De ahí el alto valor que tienen sus registros comenzados en los albores del siglo XIX.

La excepcional situación de todos ellos dentro o sobre el círculo polar, y en el límite de los hielos del inlandsis ártico de Groenlandia, dota de un no menos excepcional interés a sus registros térmicos. La evolución seguida por las temperaturas aparece caracterizada por una tendencia de aumento. El valor de esta tendencia se sitúa en 0.009 para el promedio de los siete observatorios, si bien es de 0.006 para el observatorio de Stykkisholmur que comenzó a funcionar en 1830. Sin embargo, esta tendencia global de calentamiento presenta dos rasgos muy destacados. El primero de estos rasgos es que todo el ascenso de las temperaturas se registra en las dos décadas entre 1920 y 1940. Por ello, si se considera la evolución desde esas fechas hasta la actualidad no existe tendencia alguna, es más esta sería de enfriamiento. Un hecho ciertamente sorprendente para un proceso de calentamiento vinculado al aumento antropogénico de los gases de invernadero (Fig. 6).

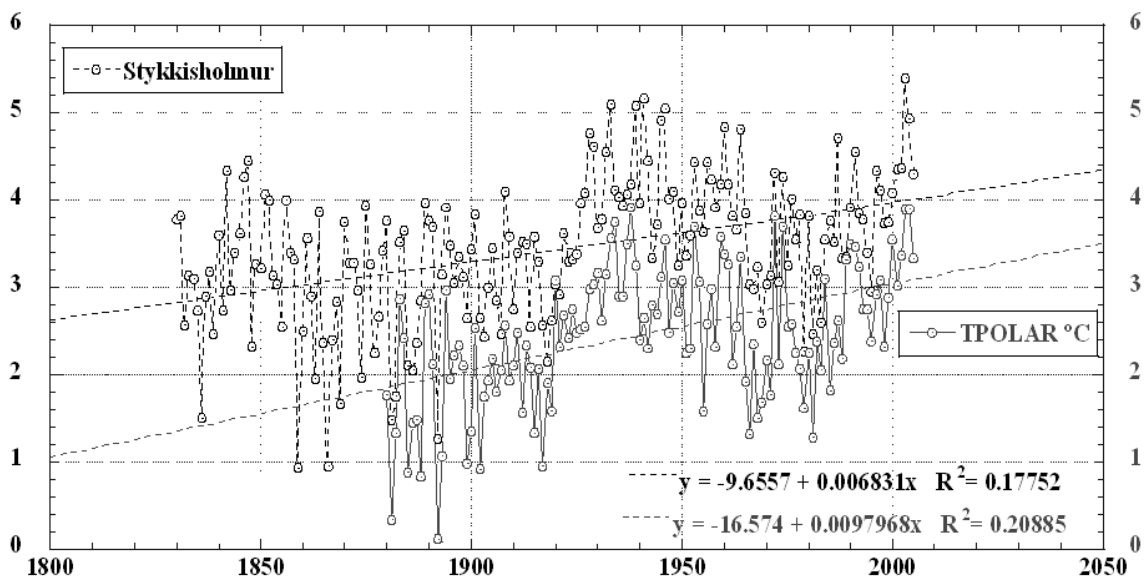


Fig. 6: Evolución de la temperatura en los observatorios polares desde 1830-1880.

El segundo rasgo de la evolución térmica es el estrecho paralelismo que mantiene con la actividad solar. En efecto, tanto los ciclos de calentamiento como los de enfriamiento vienen determinados por los ciclos de aumento o descenso respectivamente de la radiación solar. Una modulación que podremos establecer de modo más exacto en la medida que se conozcan

mejor los índices de transparencia atmosférica y especialmente las interacciones océano-atmósfera.

Consecuencia de todos estos procesos de retroacción o *feed-back* es la alta significación de la figura 7 en que la actividad solar ha sido reducida a una escala térmica centigrada. Esta escala ha sido obtenida mediante la correlación de las temperaturas mejor estimadas durante la Pequeña Edad de Hielo correspondiente a la fase del mínimo solar de Maunder (1.5 a 2 °C inferiores a las actuales según todas las reconstrucciones) y la tendencia de evolución de las manchas solares. El valor de incremento de la actividad solar, entre 1830 y 2005, habría supuesto un aumento térmico entre 1 y 1.2 °C. Un aumento secular que es equivalente al mostrado por los registros térmicos de los observatorios polares.

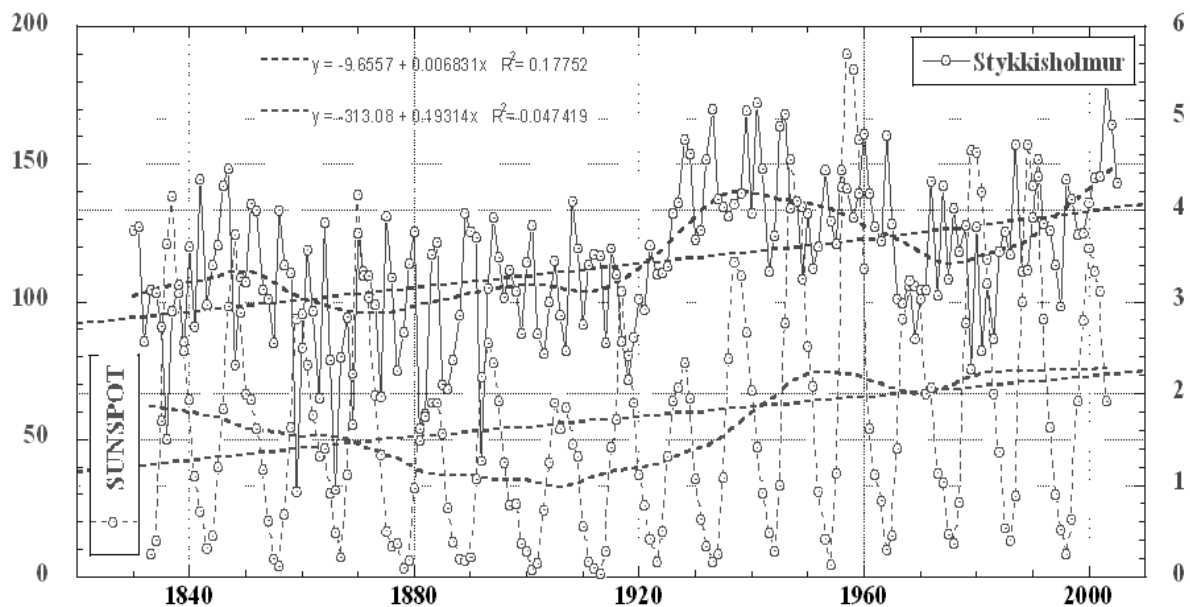


Fig. 7: Evolución de las temperaturas polares y de la actividad solar (°C) con función estadística *weighed* y factor de suavización 20 %.

Asimismo, esta magnitud de calentamiento no difiere secularmente de la obtenida en los análisis térmicos de la región mediterránea si bien la evolución temporal muestra grandes diferencias y contradicciones. La principal de ellas es que los observatorios polares muestran una tendencia negativa desde 1930 hasta la actualidad, de modo semejante a la actividad solar. Por el contrario, la evolución térmica mediterránea muestra una notable tendencia de calentamiento. Como hemos analizado, esta notable tendencia de ascenso estaría provocada por las enormes variaciones de entorno de los observatorios mediterráneos y especialmente por el efecto urbano. Un efecto tanto más intenso en cuanto que las temperaturas corresponden a los observatorios de las capitales de provincia (Fig. 8).



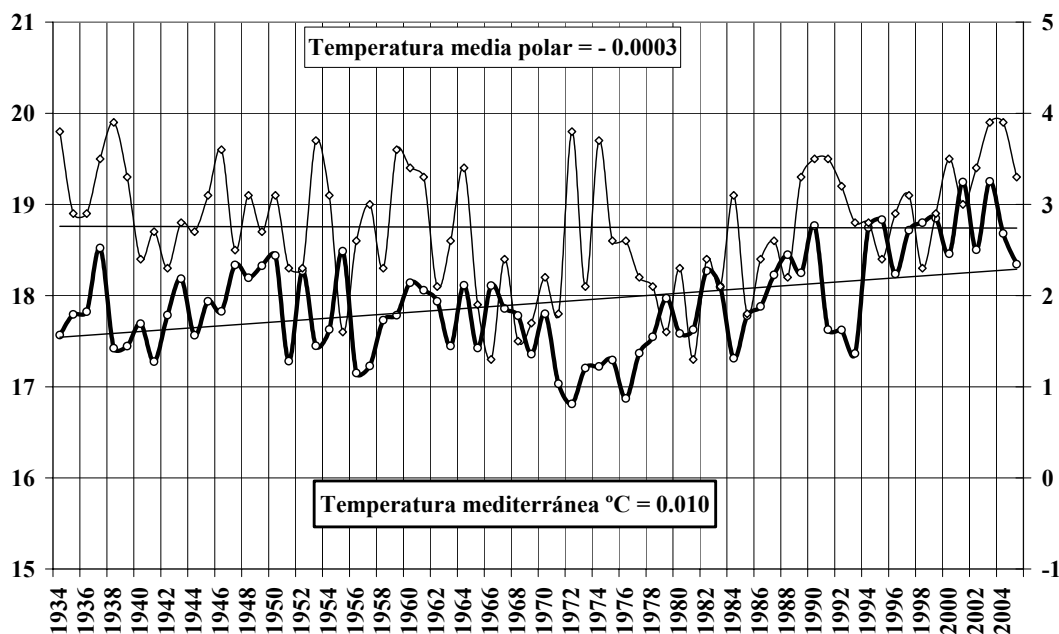


Fig. 8: Evolución y tendencia de las temperaturas polares y de las mediterráneas (Observatorios de Alicante, Valencia y Castellón).

## 6. CONCLUSIONES.

En el estado actual de las investigaciones resulta todavía muy aventurado afirmar la existencia de un *cambio climático global por el efecto invernadero*, al menos en la naturaleza y magnitudes significadas. La misma evolución de las temperaturas en la región mediterránea española ha mostrado que el proceso de generación de calor urbano se inserta como un verdadero “troyano” en el análisis de la evolución térmica. Un efecto que, en la escala de los grandes observatorios mundiales, permanece como una de las principales incertidumbres de la hipótesis de cambio climático. Todo ello obliga a ser conscientes, a pesar del riguroso empleo de las técnicas estadísticas más sofisticadas, de las enormes dificultades inherentes a la verificación de la hipótesis de calentamiento climático y de su naturaleza.

En este orden de conocimientos, la investigación de los climas pasados desprende ya que el factor esencial del sistema climático es la Radiación Solar, fuente por excelencia de la energía que gobierna toda la Naturaleza. Consecuentemente, no podemos descartar que las anomalías climáticas registradas en las últimas décadas sean la respuesta del sistema atmosférico a un proceso de retorno, muy regular y de modo paralelo a la actividad solar, a las condiciones climáticas previas a la crisis de la Pequeña Edad de Hielo. Entre otros argumentos, los análisis de la evolución térmica en los principales observatorios polares del Atlántico Norte muestran su estrecha dependencia de la actividad solar.

## 7. REFERENCIAS.

ADLER, N.O., ELIAS, A.G. and HEREDIA, T. (2000). “Long-term changes in U.V. and EUV solar radiation”, *Geofísica Internacional*, 39, 1, pp. 93-95.

- ALEXANDERSSON, H. (1986). "A homogeneity test applied to precipitation data". *International Journal of Climatology*, 6, pp. 661-675.
- ALEXANDERSSON, H. and MOBERG, A. (1997). "Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends". *International Journal of Climatology*, 17, pp. 25-34.
- DETTWILLER J., 1978: "L'évolution séculaire de la température à Paris". *La Météorologie*, VI, 13, pp. 95-130.
- EASTERLING, D. R. and PETERSON, T. C. (1992). "Techniques for detecting and adjusting for artificial discontinuities in climatological time series: a review". *5th International Meeting on Stat. Climatology*, June 22-26, 1992, Toronto.
- J.GROVE and A.BATTAGEL (1983): "Tax records from Western Norway", *Climatic Change*, 5, 3, pp. 265-283.
- IPCC (1996). "*Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*". J. J. HOUGHTON, L.G. MEIRO FILHO, B. A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG AND K. MASKELL (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 584 pp.
- IPCC Working Group I Four Assessment Report (2007). "*Climate Change 2001: The Scientific Basis*". Draft version in <http://www.gcio.org/online.html>.
- JONES, P.D., PARKER, D.E., OSBORN, T.J., and BRIFFA, K.R. (2000). "Global and hemispheric temperature anomalies - land and marine instrumental records". In Trends: "*A Compendium of Data on Global Change*". Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- JOUZEL, J., LORIUS, C., PETIT, J. R., BARKOV, N. I. and KOTLYAKOV, V. M. (1994). "Vostok isotopic temperature record". pp. 590-602. En T. A. BODEN, D. P. KAISER, R. J. SEPANSKI, and F. W. STOSS (eds.) "*Trends'93: A Compendium of Data on Global Change*". ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn, U.S.A.
- LEE, D. O. (1992). "Urban warming?-An analysis of recent trends in London's heat island". *Weather*, 47, 2, pp. 50-56.
- MANLEY, G. (1974). "Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973". *Q.J.R.M.S.*, 100, pp.389-405.
- MONTÓN CHIVA, E y QUEREDA SALA, J. (1997). "*¿Hacia un cambio climático?: Las tendencias del clima en la cuenca occidental del mediterráneo desde mediados del siglo XIX*". Fundación Dávalos Fletcher. Castellón. 520 pp.
- QUEREDA SALA, J., OBIOL MENERO, E., MONTÓN CHIVA, E. et ESCRIG BARBERÁ, J. (1999). "Les névières et les glaciers de la Méditerranée espagnole: usages et signification". *La glace et ses usages*, Troisième journée d'études du Centre de Recherches Historiques sur les Sociétés Méditerranéennes. Pôle Universitaire Européen de Montpellier et du Languedoc-Roussillon. Collection Études. Presses Universitaires de Perpignan. pp. 87-104.
- RAYNER, N. A.; PARKER, D. E.; HORTON, E. B.; FOLLAND, C. K.; ALEXANDER, L. V.; ROWELL, D. P.; KENT, E. C.; KAPLAN, A. (2004). "Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century". *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, n° D14, 4407-10.
- SCHNEIDER, S. H., 1983: "Volcanic Dust Veils and Climate: How Clear is the Connection?". *Climatic Change*, 5, 2, pp. 111-113.
- WOODWELL, G. M. (1989). "The Warming of the Industrialized Middle Latitudes 1985-2050: Causes and Consequences and Policy Responses". *Climatic Change*, 15, 1-2, pp. 31-50.