

LA HIPÓTESIS DE LA “ESTABILIDAD” CLIMÁTICA EN EL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

José QUEREDA SALA y Enrique MONTÓN CHIVA
Estación de Climatología, Universidad Jaime I. Castellón

RESUMEN

La evolución de las temperaturas medias anuales de los principales observatorios del Mediterráneo español muestra una tendencia significativa de calentamiento. No obstante, el análisis es difícil ante algunos procesos como el efecto urbano. En relación con este aspecto, hemos podido concluir que el incremento natural ó real de la temperatura, corregido el efecto urbano, sería cero ó despreciable.

Palabras clave: calentamiento, efecto urbano.

ABSTRACT

The evolution of the annual mean temperature through the historical series of the major observatories in Mediterranean Spain shows a significative trend of warming. Nevertheless, this analysis is difficult because some processes such as the urban effect. With regard to this item, we may conclude that the real “natural increase” of temperature, corrected from the urban effect, was found to be zero or negligible.

Key words: warming, urban effect.

INTRODUCCIÓN E IMPORTANCIA

La hipótesis sobre el cambio climático se ha convertido en uno de los mayores retos científicos actuales. No es para menos, si, como se afirma, las mayores alteraciones ambientales previstas para los próximos cincuenta o cien años vendrían asociadas al cambio climático producido por el incremento en la concentración atmosférica de dióxido de carbono y otros gases.

La Región Mediterránea, en el borde meridional de la zona templada, entre los 35 °N y los 45 °N, podría estar abocada, de este modo, a experimentar impactos climáticos y biogeográficos de gran intensidad.

En este orden de conocimientos, las investigaciones actuales son bastante coincidentes en afirmar que la temperatura de la Tierra habría aumentado 0.7 °C en un siglo (KELLY *et al.*, 1985; BODENT, 1993; JONES *et al.*, 1994; WILSON and JANSEN, 1994; VINNIKOV *et al.*, 1994). Este aumento ha sido estimado a partir del análisis de las temperaturas obtenidas en las principales estaciones meteorológicas del mundo. No obstante, este análisis no es fácil ya que ciertos procesos no climáticos como el englobamiento de los observatorios por las ciudades y el cambio de localización de la mayor parte de los observatorios deben ser tenidos en cuenta.

A este respecto, consideramos que los análisis regionales de la temperatura pueden contribuir bien a eliminar el “ruido” de los registros de temperatura y a detectar eventualmente esa tendencia de calentamiento climático (QUEREDA y MONTON, 1994).

1. LOS OBSERVATORIOS Y LOS DATOS

Los datos utilizados para este estudio pertenecen a una red termométrica doble. La red de primer orden comprende 10 estaciones (Figura 1) repartidas sobre el litoral mediterráneo español, con datos antiguos iniciados en el siglo XIX. Disponemos así de 10 estaciones de registros térmicos cubriendo el período 1870-1996.

Por otra parte, la red de segundo orden comprende inicialmente 13 observatorios cuyos registros cubren el período actual 1940-1996. Esta red de segundo orden, compuesta por estaciones en medio rural, poco o nada influenciados por las ciudades, ha sido utilizada para establecer la correlación entre la tendencia desprendida por la red de primer orden y la desprendida por la red observatorios rurales.

Los datos de base (INM, Instituto Nacional de Meteorología, British Meteorological Office para Gibraltar) son las medias mensuales y anuales de las temperaturas mínimas y máximas.

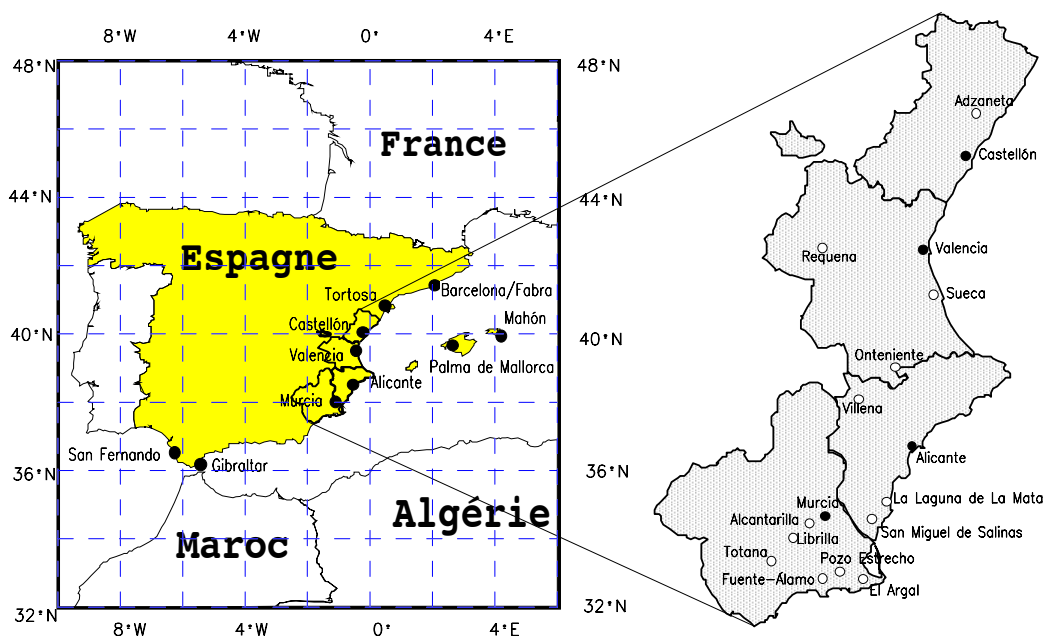


Figura 1. Mapa de los principales observatorios de la Región Mediterránea Española y de la red de observatorios de segundo orden utilizada en este estudio.

1.1. La calidad de los datos.

Dado que la validez de toda conclusión sobre la evolución del clima depende de la calidad de los datos, todas las series utilizadas han sido sometidas a un cierto número de operaciones de control. (LAMARQUE y JOURDAIN, 1994).

La primera etapa de tratamiento de los datos ha consistido en testear la continuidad y coherencia espacial de las medias térmicas mensuales con reconstitución de los valores inexistentes por ausencia o pérdida. Asimismo, los valores que no estaban comprendidos en el intervalo de confianza al 99% han sido rechazados. Todos estos valores, ciertamente poco numerosos, han sido reconstituidos con la ayuda de una interpolación simple con las medias de los observatorios más próximos y de mejor coeficiente de correlación, $r > 0.7$.

1.2. La homogeneidad de las series de temperatura.

No obstante, si bien todos esos valores ausentes son poco numerosos, y la mayor parte en la red de primer orden, los tests de homogeneidad interna (test de Wald-Wolfowitz) y los tests de homogeneidad relativa por el método de Alexandersson (1986, 1997) permiten considerar que la mayor parte de las series no son aleatorias.

Estos tests han permitido considerar que una gran parte de las series de primer orden no eran aleatorias. Sobre las diez estaciones históricas, tan solo las de Barcelona y San Fernando en Cádiz pueden ser consideradas homogéneas al intervalo de confianza del 95 %. Ello puede deberse a que estos observatorios son los únicos que no han sufrido cambios de ubicación, salvo el de Barcelona en 1914. Todas las otras estaciones de primer orden presentan alguna heterogeneidad. No obstante, es interesante destacar que las series de los observatorios de segundo orden han mostrado una buena homogeneidad. En este orden, el 55 % de las series no sobrepasan el nivel crítico del test para la confianza del 95 %.

1.3. La corrección de heterogeneidades.

Todas estas rupturas de homogeneidad han sido consideradas como susceptibles de ser corregidas a partir de la fecha mostrada por el test de Alexandersson. Sin embargo es preciso señalar que tan sólo las rupturas confirmadas por la historia de los observatorios han sido corregidas. El período que se considera heterogéneo es el que está situado antes de la fecha de ruptura. El método utilizado para la corrección de las heterogeneidades ha consistido en establecer la diferencia entre la media del período a corregir y la media del período homogéneo y de multiplicar los valores del período a corregir por esa diferencia. Para calcular la media se ha utilizado la fórmula propuesta por Alexandersson (1997). Los coeficientes de correlación entre las series tratadas de las temperaturas medias deben mostrar una buena conexión, $r > 0.7$.

Una vez las series corregidas se ha testado su homogeneidad de nuevo. De este modo, hemos podido constatar que cuatro nuevas series de la red de primer orden, Tortosa, Castellón, Valencia y Alicante, han podido ser homogeneizadas. Las otras 4 series restantes tan solo han sido homogeneizadas en lo que su histórico permitía, si bien continuaban presentando alguna heterogeneidad.

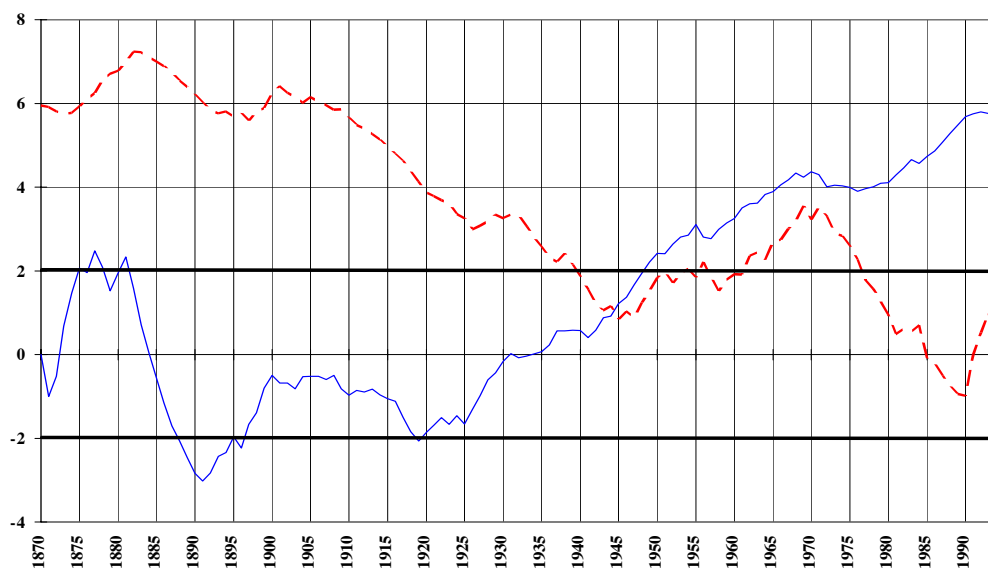


Figura 2. Test de Mann-Kendall aplicado sobre la serie media regional de las temperaturas medias anuales. Las líneas horizontales en trazos fuertes representan el intervalo de confianza del test al 95 %.

En este estado del proceso, hemos podido observar que esa heterogeneidad de la serie media regional de las temperaturas en los observatorios de primer orden (Fig. 2) se manifiesta progresivamente a modo de tendencia. Esta tendencia y la dificultad de detectar si se trata de una ruptura artificial ó una fluctuación climática real, nos ha llevado a conservar todas las series de primer orden, en su estado, para el estudio de la tendencia climática. Un estudio que se ve favorecido además por el hecho de que todas las series de segundo orden, 13 observatorios, están ó han podido ser homogeneizadas.

2.LA TENDENCIA CLIMÁTICA

Ha sido analizada sobre la serie media regional de los observatorios de primer orden. Para detectar esta tendencia se han utilizado dos métodos, la regresión lineal simple en lo que concierne a su valor y el test de Mann-Kendall en relación al origen de la tendencia. La figura 3 muestra la tendencia media regional de las temperaturas medias anuales. Esta figura da cuenta de la tendencia y de su valor medio anual, 0.0071°C , es decir 0.8°C para los últimos 126 años, 1870-1996, así como de sus valores parciales.

Sin embargo, los diferentes valores de elevación térmica entre los distintos observatorios, de $0,5$ a $1,2^{\circ}\text{C}$, sugieren una heterogeneidad de calentamiento y ciertas dudas sobre su verdadera naturaleza. Es por ello por lo que es lícito interrogarse sobre la siguiente cuestión.

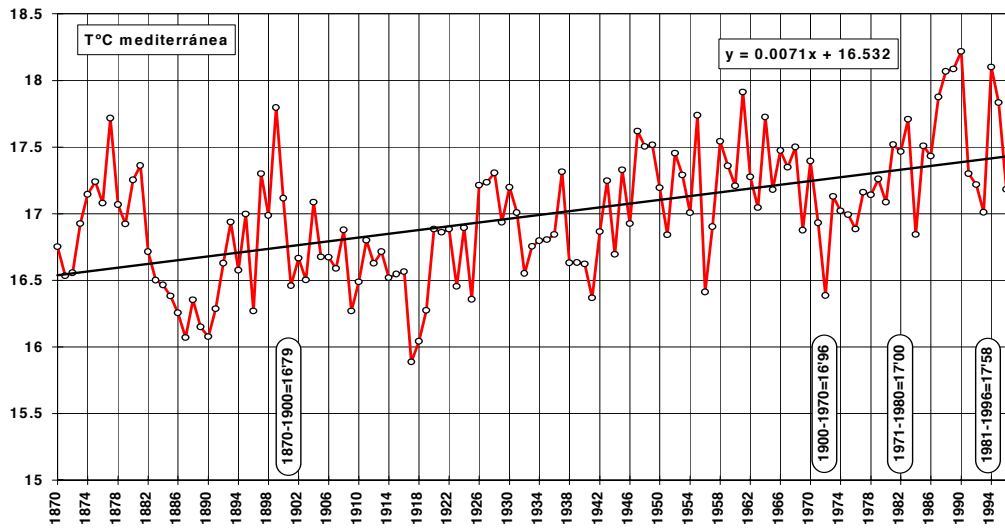


Figura 3. La tendencia de las temperaturas medias de la España Mediterránea muestra un aumento de 0.8°C en el período 1870-1996.

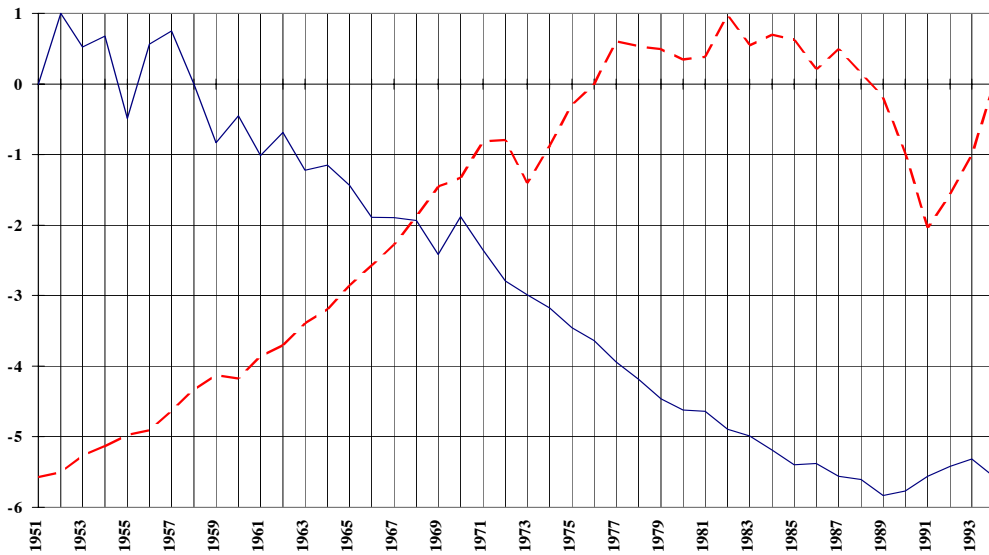


Figura 4. Test de Mann-Kendall aplicado a la serie media regional de diferencias entre temperaturas medias máximas y mínimas (Observatorios de Valencia, Palma, Alicante y San Fernando).

3. ¿UN ATENDENCIA DE CALENTAMIENTO URBANO?.

Una gran parte de esa elevación de las temperaturas registrada en los observatorios de primer orden podría estar causada por el efecto urbano. Estos observatorios, establecidos en el borde de las ciudades en el siglo pasado, han sido absorbidos progresivamente por la expansión urbana.

En este sentido, hemos tratado de analizar más finamente este posible proceso en los observatorios de primer orden. Por ello hemos estudiado su posible impacto sobre uno de los efectos clásicos de la urbanización: la elevación de las temperaturas mínimas y la reducción de la amplitud térmica diaria.

El test de Mann-Kendall ha permitido poner en evidencia que la amplitud térmica decrece en todos los observatorios, si bien con alguna diferencia temporal y espacial. Así, mientras que en los observatorios de Valencia, Palma de Mallorca, Alicante y San Fernando (Fig. 4), la amplitud decrece constantemente desde 1957, el proceso comienza más tarde en los otros observatorios regionales de primer orden.

De este modo se puede admitir que la incidencia de las actividades humanas es sensible en todos los observatorios de primer orden del Mediterráneo Español. Un efecto que tan solo parece débil y reciente en el observatorio de Barcelona-Fabra, situado en el borde de la aglomeración y a 412 metros de altura, sobre el monte Tibidabo, con atenuación de los efectos de la ciudad. (Fig. 5).

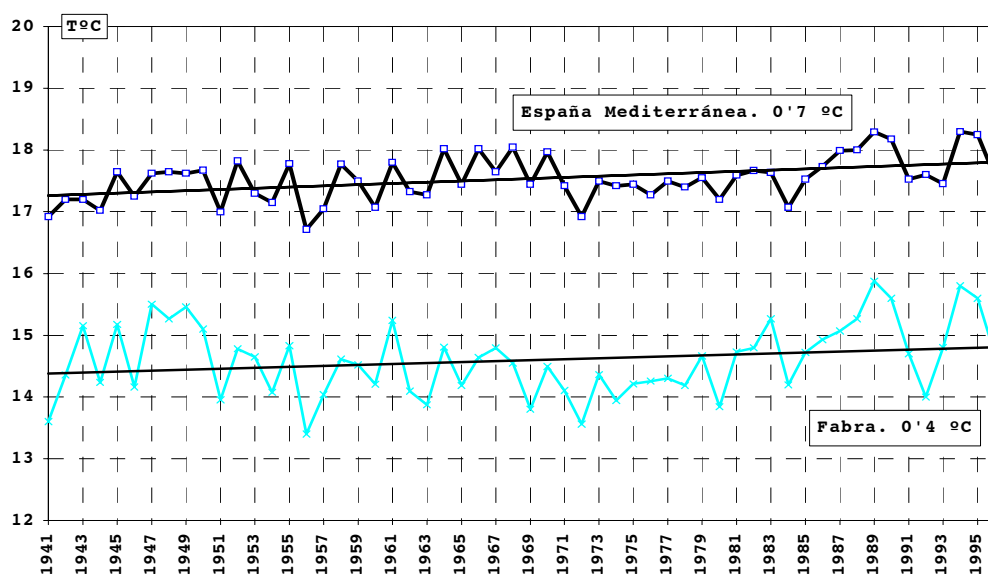


Figura 5. La situación del observatorio de Fabra puede estar reduciendo los efectos térmicos de la ciudad especialmente en invierno cuando la célula de brisa tan sólo tiene un espesor de 300 metros. El distinto valor de la tendencia de la temperatura media anual en los observatorios de Barcelona y del resto de la España Mediterránea muestra estos procesos.



El observatorio Fabra con la ciudad de Barcelona al fondo

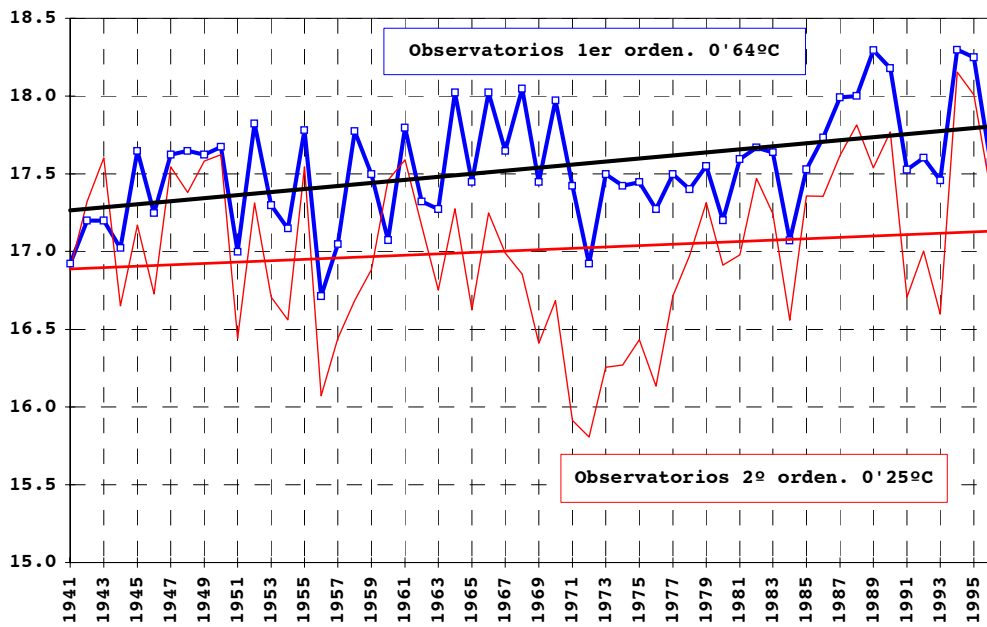


Figura 6. Comparación entre la tendencia de calentamiento registrada sobre la red de primer orden y la tendencia obtenida sobre la red de segundo orden.

Planteada la cuestión, el objetivo no debe ser otro que el de estimar la parte de esa elevación de las temperaturas que podría corresponder al aumento de las actividades humanas desde el siglo pasado. Para ello sería necesario disponer de algunas series poco o nada influenciadas por las ciudades y de longitud idéntica a la de los observatorios históricos o de primer orden. Desgraciadamente no se dispone de tales series “rurales” más que desde hace unos cincuenta años. Estas series pertenecen a la red de segundo orden analizada, compuesta por 13 observatorios con datos homogéneos y que cubren el período 1940-1996. Esta red ha sido utilizada para establecer la comparación entre los valores de la tendencia de calentamiento registrada sobre la red de primer orden y los valores de tendencia obtenidos sobre la red de segundo orden (Fig. 6).

De este modo, admitiendo que la tendencia calculada sobre los observatorios de la red de segundo orden sea representativa de la “tendencia natural” de la temperatura, la urbanización y las actividades humanas serían responsables de una elevación de 0.4°C en la temperatura regional entre 1940 y 1996. Tal es el resultado obtenido mediante la comparación de la serie térmica media regional de los observatorios de primer orden ($+0.64^{\circ}\text{C}$) y la serie media de la red de observatorios de segundo orden ($+0.25^{\circ}\text{C}$). El coeficiente de correlación entre ambas series muestra una buena conexión, $r > 0.7$.

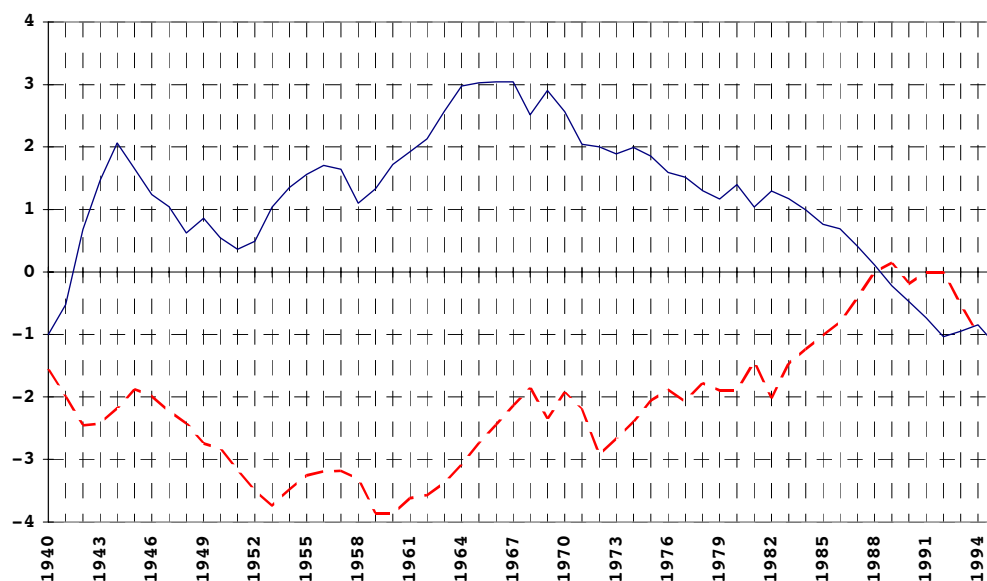


Figura 7. El test de Mann-Kendall aplicado a la serie media regional de la amplitud térmica diurna en los observatorios de 2º orden.

En suma, todos estos valores sugieren que una gran parte de la elevación de las temperaturas registrada en los observatorios históricos o de primer orden de la España Mediterránea puede resultar del efecto urbano. Este efecto es puesto en evidencia por la clásica disminución de la amplitud térmica diurna. A este respecto, la comparación entre la evolución de esta amplitud térmica diurna de los observatorios urbanos y los rurales muestra que la tendencia tan sólo es significativa en los primeros (Fig. 7), ya que en los de segundo orden no aparece.

4. CONCLUSIÓN

La evolución de la temperatura media anual a partir de las largas series disponibles de los observatorios históricos del Mediterráneo Español, pone en evidencia una significativa tendencia de calentamiento climático. Esta tendencia media regional, alcanza valores de 0.71°C por siglo y de 0.7 a 0.8°C para los 126 años entre 1870 y 1996. Sin embargo, los diferentes valores entre observatorios, entre 0.5°C y 1.2°C sugieren una heterogeneidad de calentamiento.

A este respecto, hemos podido observar que una parte de esa elevación de la temperatura, 0.4°C sobre la segunda mitad del siglo XX, puede resultar del efecto urbanización. En consecuencia podemos considerar que la verdadera elevación natural de la temperatura corregida del efecto urbano, es bastante más moderada. Incluso esta tendencia de calentamiento real podría corresponderse bien con el índice solar-volcánico.

Este índice es elaborado en función de:

$$I_{sv} = \text{RS} - \text{DVI}$$

en donde RS, Radiación Solar es expresada en su equivalencia en grados ($200\text{Wolf}=1^{\circ}\text{C}$) y el DVI ó magnitud de polvo volcánico, es expresado en equivalencia de $-1^{\circ}\text{C} = 1000\text{ DVI}$. Esta equivalencia de enfriamiento es, con gran aproximación, la realmente observada tanto en escala regional como global.

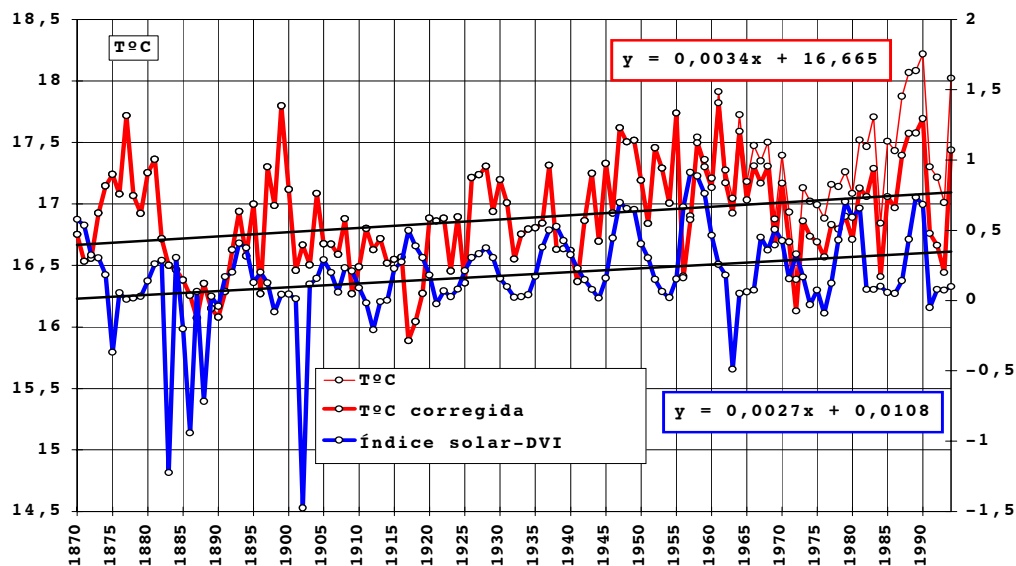


Figura 8. Evolución y tendencia de las temperaturas medias anuales del Mediterráneo español, comparando la serie original, aquella corregida de urbanización y el Índice solar volcánico (I_{sv}) (1870-1994).

En la figura 8, se puede observar que la tendencia de incremento térmico registrado en el Mediterráneo español es bastante semejante a la tendencia del Índice solar-volcánico, I_{sv} . A pesar de ello, es posible apreciar que el valor del “trend” de calentamiento registrado por los observatorios mediterráneos españoles, $0,7\text{ }^{\circ}\text{C/siglo}$, es superior al seguido por el I_{sv} , $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. De este modo, podría concluirse que el I_{sv} , si bien manifiesta una tendencia de incremento semejante a la de la temperatura regional, no es suficiente para explicar “todo” el aumento térmico registrado. ¿Qué proceso ó procesos pueden explicar el mayor incremento experimentado por la temperatura en los últimos veinticinco o treinta años?.

Como la misma figura 8 muestra, la evolución térmica media de los observatorios mediterráneos españoles, corregida del efecto urbanización, bien podría estar representando la verdadera elevación natural de la temperatura; en consecuencia, el trazado de todas estas curvas de ajuste obliga a no rechazar la hipótesis de estabilidad en la temperatura real de la España mediterránea, entre tanto prosiguen las investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA.

- ALEXANDERSSON, H. y MOBERG, A. (1997): “Homogenization of swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends”. *International Journal of Climatology*, 17.
- ALEXANDERSSON, H. (1986): “A homogeneity test applied to precipitation data”. *International Journal of Climatology*, 6.
- BODEN, T. A., *et al.* (eds.) (1994): “Trends '93: A compendium of data on global change” ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A..
- BRIFFA, K. R. y JONES, P.D. (1993): “Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 2, implications for large-scale high-frequency palaeoclimatic studies”. *The Holocene*, 3, 77-88.
- COLACINO, M. y ROVELLI, A. (1983): “The yearly average air temperature in Rome from 1782 to 1975”. *Tellus*, 35A, 5, 389-397.
- DETTWILLER, J. (1978): “L'évolution séculaire de la température à Paris”. *La Météorologie*, VI, 13.
- EASTERLING, D. R., *et al.* (1997): “Maximum and minimum temperatures trends for the Globe”. *Science*, 277, 364-367.
- HANSEN, J. y LEBEDEFF, S. (1988): “Global surface air temperatures: update through 1987”. *Geophysical Research Letters*, 15, 323-326.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990): *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*, J. T. HOUGHTON, G. J. JENKINS and J. J. EPHRAUMS (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, 365 pp.
- IPCC (1992): *Climate Change: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, J. T. HOUGHTON, B. A. CALLENDER and S. K. VARNEY (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 198 pp.

- 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.
- JONES, P. D. y BRIFFA, K. R. (1992): "Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 1, spatial, temporal and seasonal details". *The Holocene*, **2**, 165-179.
- JONES, P. D., *et al.* (1990): "Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land". *Nature*, **347**, 169-172.
- JONES, P. D.; KELLY, P. M. y GOODESS, C. M. (1989): "The effects of urban warming on the Northern Hemisphere temperature average". *Journal of Climate*, **2**, 285-290.
- JONES, P. D. (1994a): "Hemispheric surface air temperatures variations: a reanalysis and an update to 1993". *Journal of Climate*, **7**, 1794-1802.
- JONES, P. D. (1994b): "Recent warming in global temperature series". *Geophysical Research Letters*, **21**, 1149-1152.
- JONES, P. D., WIGLEY, T. M. L. y BRIFFA, K. R. (1994): "Global and hemispheric temperature anomalies-land and marine instrumental records". pp. 603-608; in BODEN, T. A *et al.* (eds.), "*Trends '93: A compendium of data on global change*" ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.
- KARL, T. R., DIAZ, H. F. y KUKLA, G. (1988): "Urbanization: its detection and effect in the United States climate record". *Journal of Climate*, **1**, 1099-1123.
- KUKLA, G., GAVIN, J. y KARL, T. R. (1986): "Urban warming". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **25**, 1265-1270.
- KELLY, P. M., *et al.* (1985): "The extended Northern Hemisphere surface air temperature record: 1851-1984". *Preprints, Third Conf. on Climate Variations and Symp. on Contemporary Climate; 1850-2100*, Boston, Amer. Meteor. Soc., pp. 23-24.
- LAMARQUE, Ph. y JOURDAIN, S. (1994): "Élaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l'étude de l'évolution climatique". *La Météorologie*, **8**, 7.
- LEE, D. O. (1992): "Urban warming?- An analysis of recent trends in London's heat island". *Weather*, **47**, 2, 50-56.
- LOCKWOOD, J. G. (1998): "Future trends in daytime and night-time temperatures". *Weather*, **53**, 3, 72-78.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., *et al.* (1993): "*El clima de las ciudades españolas*". Eds. Cátedra, S. A. 268 pp.
- MASS, C. y SCHNEIDER, S. H. (1977): "Influence of Sunspot and Volcanic Dust on Longterm Temperature Records Inferred by Statistical Investigations". *Journal of Atmospheric Sciences*, **34**, 1995-2004.
- MITCHELL, Jr, J. M. *et al.* (1966): "*Climatic Change*". Technical note n° 79, W.M.O. Ginebra.

- MOBERG, A. y ALEXANDERSSON, H. (1997): "Homogenization of swedish temperature data. Part II: Homogenized Gridded Air Temperature compared with a subset of Global Gridded Air Temperature since 1861". *International Journal of Climatology*, **17**. 667-699.
- NASA Climate Data System Staff (1992): "Greenhouse Effect Detection Experiment". *NASA-Goddard Space Flight Center*, Rapport NASA au Space Agency Forum on The International Space Year 1992.
- QUEREDA, J. (1992): "Significant Warming Trend in the Spanish Mediterranean". *Weather*, pp. 274-275.
- QUEREDA SALA, J. y MONTON CHIVA, E. (1994): *¿Hacia un cambio climático?* Universidad Jaume I, 27 pp.
- QUEREDA SALA, J.; OLCINA CANTOS, J. y MONTON CHIVA, E. (1996): "Red dust rain within the Spanish Mediterranean area". *Climatic Change*, **32**, 215-228.
- SCHNEIDER, S. H. (1983): "Volcanic Dust Veils and Climate: How Clear is the Connection?". *Climatic Change*, **5**, 2. 111-113.
- SNEYERS, R. (1975): *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Organisation Météorologique Mondiale, Note technique n° 143. Genève. 192 pp.
- VANDIEPENBEECK, M. (1995): "Détection pratique de changement de climat dans le cas d'une alternative au caractère aléatoire". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, **8**, 116-124.
- VINNIKOV, K. Ya.; GROISMAN, P. Ya. y LUGINA, K. M. (1990): "Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation)". *Journal of Climate*, **3**, 662-677.
- VINNIKOV, K. Ya.; GROISMAN, P. Ya. y LUGINA, K. M. (1994): "Global and hemispheric temperature anomalies from instrumental surface air temperature records". pp. 615-627. BODEN, T. A., *et al.* (eds.), "Trends '93: A compendium of data on global change" ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.
- WILSON, H. y HANSEN, J. (1994): "Global and hemispheric temperature anomalies from instrumental surface air temperature records". pp. 609-614; in BODEN, T. A., *et al.* (eds.), "Trends '93: A compendium of data on global change" ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.

