Investigaciones Geográficas, nº 49 (2009) pp. 109-127
ISSN: 0213-4691

Instituto Universitario de Geografía
Universidad de Alicante

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES DE VALENCIA Y MURCIA: LA SOMBRA ANALÍTICA DE UN AUTÉNTICO *TROYANO*

José Quereda Sala, Enrique Montón Chiva y José Escrig Barberá
Laboratorio de Climatología, IIG (Instituto Interuniversitario de Geografía). Universitat Jaume I

RESUMEN

El objetivo básico del presente trabajo ha sido el de establecer el valor de la tendencia climática regional. Una rigurosa homogeneización y corrección de las series climáticas temporales (SNHT), permite concluir que, desde mediados del siglo XX, se ha asistido a una elevación de las temperaturas. El valor de esta tendencia habría sido inferior a 0.4 ºC en el periodo 1950-2008. Un aumento térmico que muy posiblemente, a tenor del comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas, podría estar inducido por el aumento de la actividad solar. La escasa magnitud de valor en este calentamiento podría asimismo explicar que el comportamiento de las precipitaciones no haya mostrado tendencias significativas.

ABSTRACT

The main goal of this research has been to establish the value of regional climate trends. Rigorous homogenization and correction of climatic time series (SNHT) suggests that, since the mid-twentieth century the mediterranean observatories has showed a rise in temperatures. The value of this trend would have been less than 0.4 ºC over the period 1950-2008. A thermal increase, according to the behavior of the maximum and minimum temperatures, could be induced very likely by increased solar activity. The small magnitude of this heating could also explain the behavior of rainfall not showing significant trends.

1. Introducción

Un notabilísimo esfuerzo de investigación concerniente a las variaciones climáticas y a la influencia del hombre sobre el clima está siendo desarrollado en las tres últimas décadas. Intensa actividad de estudio que está justificada sobre la base de las actuales hipótesis de nuestro porvenir climático. No obstante, y a pesar del formidable esfuerzo desplegado en el control de la calidad de los datos, numerosas incertidumbres persisten en este dominio

Fecha de recepción: 12 de febrero de 2010. **Fecha de aceptación:** 29 de marzo de 2010.

en plena efervescencia y en el que oscilaciones de medio grado, tal vez más, deben ser examinadas con circunspección ya que un simple cambio de abrigo, técnica de medida o cambio de localización en los observatorios pueden ser su causa.

Sin duda alguna, el más sutil e importante de estos procesos es el efecto térmico urbano. Este efecto, aunque innegable, es controvertido en su importancia. Las ciudades se han convertido en células o burbujas de condiciones climáticas muy distintas a las del entorno atmosférico o rural en que están enclavadas. Este proceso, denominado de la *isla de calor*, puede constituir un auténtico *troyano* en los análisis sobre la evolución de las temperaturas.

Todo ello obliga a ser conscientes de las enormes dificultades inherentes a la verificación de la hipótesis de calentamiento climático a causa de la gran heterogeneidad de las series térmicas temporales. Así pues, a pesar del riguroso empleo de las técnicas estadísticas más sofisticadas en el análisis, la inseguridad en la detección de tendencias significativas viene permaneciendo en todas las conclusiones alcanzadas sobre la magnitud de calentamiento observada (J. R. Mitchell *et al*., 1966; R. Sneyers, 1975; D. R Easterling and T. C. Peterson, 1992; Ph. Lamarque and S. Jourdain, 1994; D. R. Easterling *et al*., 1997; A. Moberg and H. Alexanderson, 1997). Proceso capital de esta inseguridad es el efecto de la urbanización (G. Kukla *et al*., 1985; D. O. Lee, 1992; D. R. Easterling, and T. C. Peterson, 1992; J. G. Lockwood, 1998; J. Quereda *et al*., 2004).

2. La evolución de la temperatura en la región mediterránea española

La evolución de la temperatura en la región mediterránea española pone en evidencia una tendencia significativa de calentamiento climático. El valor secular de esta tendencia sería notable, 0.017, equivalente 1 ºC para el período 1950-2008 (figura 1). Este valor adquiere incluso magnitudes de calentamiento «dramáticas» ya que tan sólo comienza a detectarse a partir de 1980, tras una década anterior relativamente fresca que hizo evocar, incluso, la evolución hacia una nueva época glacial (V. Mª ROSSELLÓ VERGER, 1974; J. DETTWILLER, 1981 y J. QUEREDA, 1983).

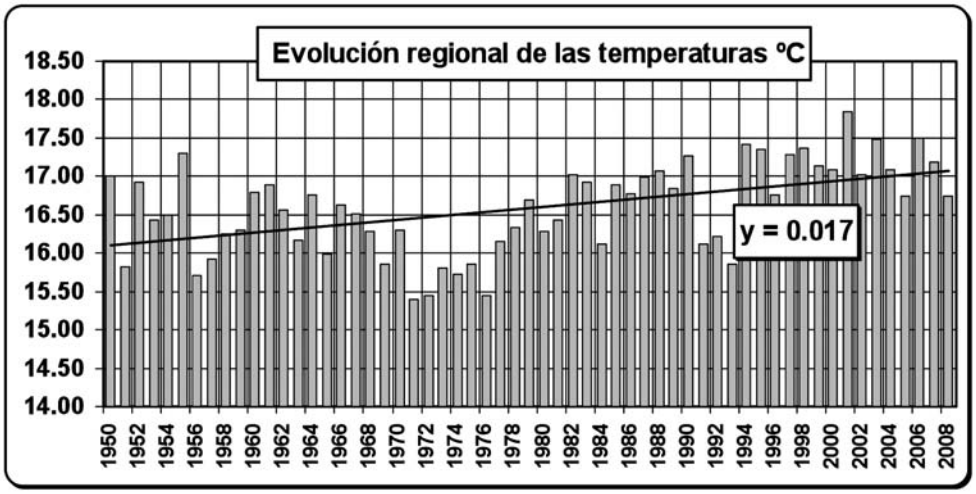

FIGURA 1. Evolución de la temperatura media anual en las regiones de Murcia y Valencia, como promedio de los observatorios de Murcia, Alicante, Valencia y Castellón (INM).

Sin embargo ese carácter «brusco» de la elevación a partir de 1980 y la diferente magnitud del calentamiento registrado entre observatorios muy próximos, 0.03 ºC año en Castellón, 0.02 en Valencia y 0.016 en Murcia y Alicante (figura 2), así como el diferente comportamiento de las temperaturas máximas y las mínimas, han venido suscitando dudas tanto sobre la naturaleza del cambio, antropogénico o natural, como sobre su misma existencia (J. QUEREDA et al., 2000).

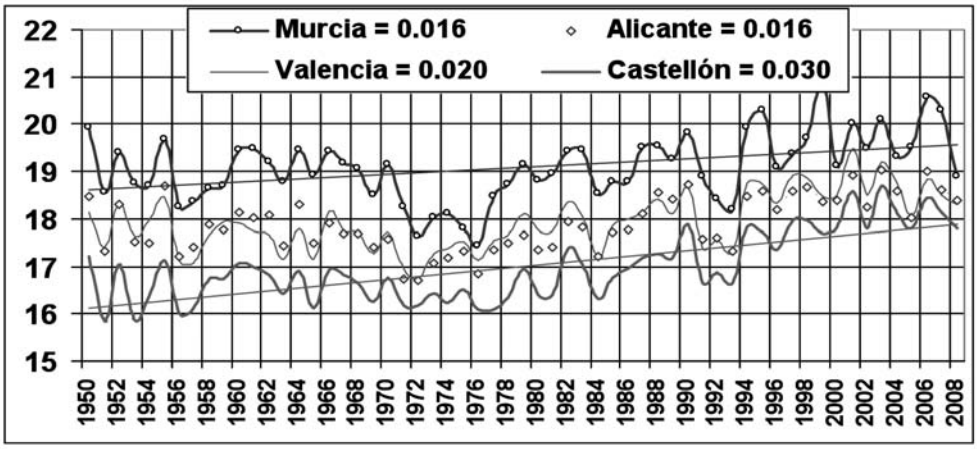

FIGURA 2. Evolución de las temperaturas medias anuales homogeneizadas de los observatorios de Murcia, Alicante, Valencia y Castellón.

2.1. El análisis del efecto urbano

A este respecto, tras el complejo y laborioso proceso de homogeneización y corrección de heterogeneidades (H. ALEXANDERSSON and A. MOBERG, 1997; D. R. EASTERLING and T. C. PETERSON, 1992), podemos estimar que una parte de esa elevación de la temperatura, 1 ºC sobre el periodo 1950-2008, podría resultar del efecto urbanización. Un efecto que se manifiesta progresiva y acumulativamente ya que los observatorios han sido absorbidos paulatinamente por la expansión de las ciudades (figura 3).

El resultado de este proceso de urbanización puede venir reflejado en el hecho de que la mayor parte de la elevación térmica se haya venido produciendo en las temperaturas mínimas, con un valor de 1.4 ºC a lo largo del periodo 1950-2008 (figura 4). La evolución de las temperaturas máximas, con 0.6 ºC, igualmente durante la segunda mitad del siglo XX, habría aportado menos de la mitad del aumento térmico registrado. Un comportamiento que responde a la generación de calor urbano ya que todos los estudios experimentales, así como el análisis de la evolución térmica, hasta mediados de los años setenta, muestran que el valor de tendencias máximas y mínimas es casi idéntico (J. QUEREDA et al., 2009).

De este modo, la evolución térmica registrada refuerza la convicción de que el proceso de generación de calor urbano permanezca 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 ciuda-

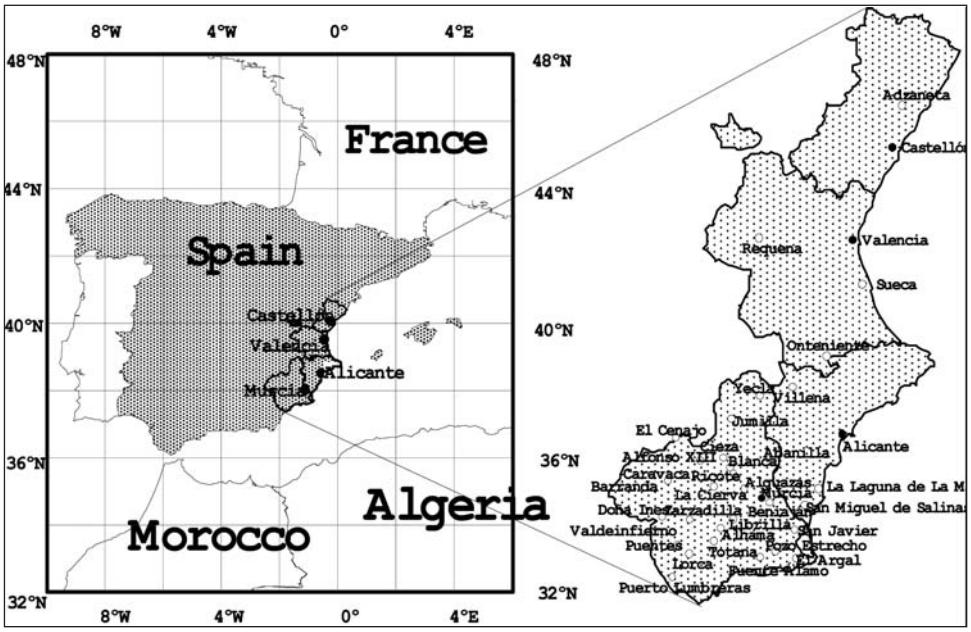

FIGURA 3. Mapa de los observatorios utilizados en el análisis (1950-2008).

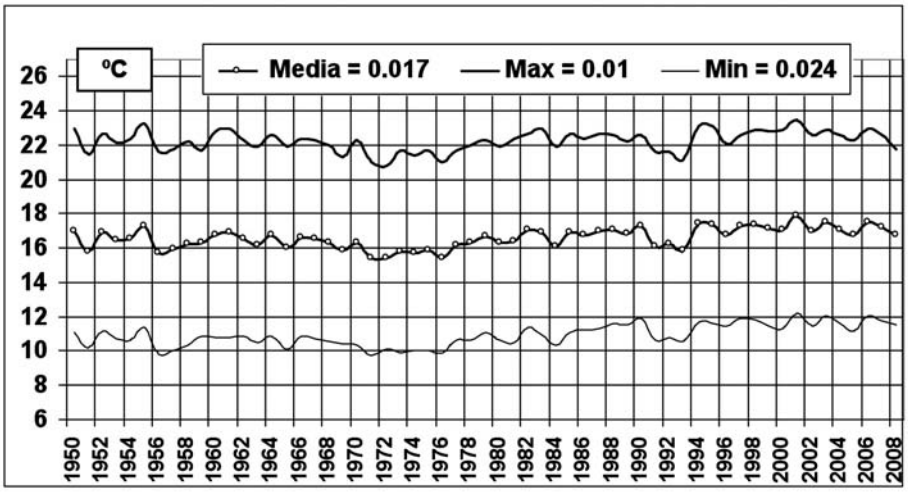

FIGURA 4. Evolución y tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y medias en los 37 principales observatorios de las regiones de Valencia y de Murcia.

des, 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. Soslayando este efecto se puede estar introduciendo un gran sesgo y error en

la verificación de la magnitud y naturaleza del calentamiento climático. La gran diferencia en el valor de tendencia entre observatorios enclavados en grandes ciudades y núcleos menores así lo significa (figura 5).

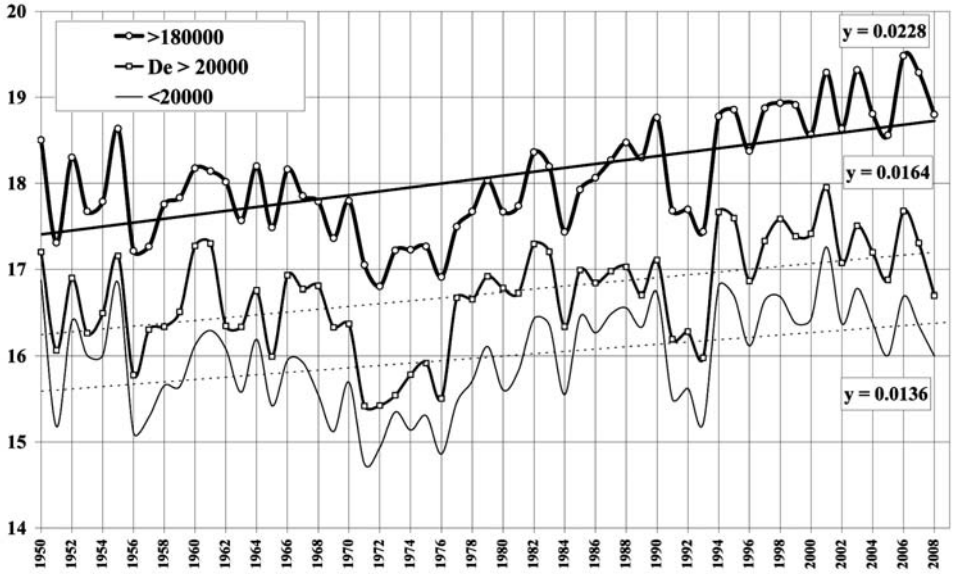

FIGURA 5. Evolución y tendencia de la temperatura media anual en los 5 observatorios urbanos de Murcia, Elche, Alicante, Valencia y Castellón así como en los restantes observatorios «más rurales», (de 80.000 a 20.000 habitantes y menores de 20.000 habitantes). Fuente: INM, y homogeneización propia.

2.2. ¿Cuál habría sido la evolución térmica si eliminásemos el efecto urbano?

En este orden de análisis, si la evolución térmica regional la evaluamos a través de la comparación de los cinco observatorios urbanos, ubicados en ciudades con más de 180.000 habitantes, Murcia, Elche, Alicante, Valencia y Castellón, con la de los treinta observatorios rurales, ubicados en núcleos menores de 20.000 habitantes, podemos aproximarnos mejor a la verdadera configuración y magnitud del calentamiento (figuras 6 y 7).

En este sentido resalta especialmente que el valor de tendencia en las temperaturas máximas de los observatorios no urbanos sea la mitad que en los núcleos superiores a 180.000 habitantes. De este modo, si bien las temperaturas mínimas de los núcleos no urbanos también muestran una notable elevación, el aumento de las temperaturas medias, durante el periodo 1950-2008, es inferior al registrado en los núcleos urbanos (0.023 frente a 0.031).

Este aumento del valor de las temperaturas máximas medias (0.007) en la mayor parte de los observatorios regionales supone un ascenso térmico de tan sólo 0.4 ºC entre 1950 y 2008. Este aumento podría representar, como mucho, el verdadero incremento térmico. Esta hipótesis sobre el crecimiento real de la temperatura está fundamentada en la coincidencia

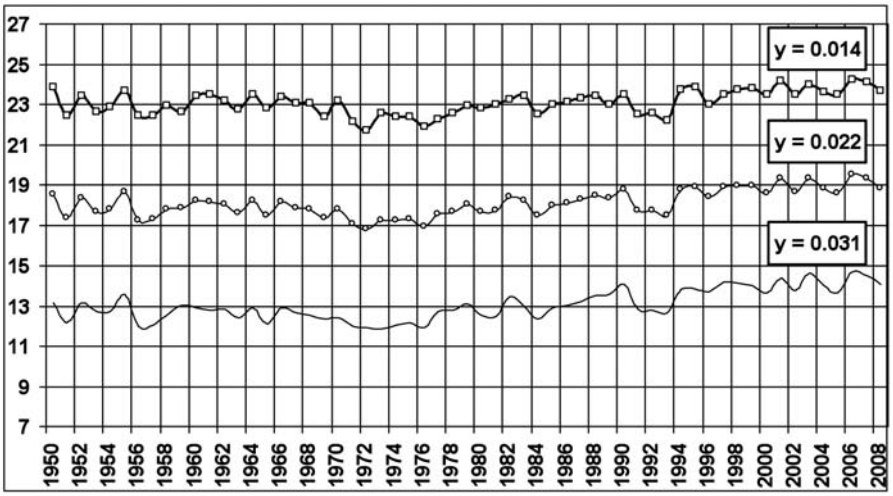

FIGURA 6. Evolución y tendencia de las temperaturas medias anuales registradas en los observatorios urbanos (<180.000 habitantes).

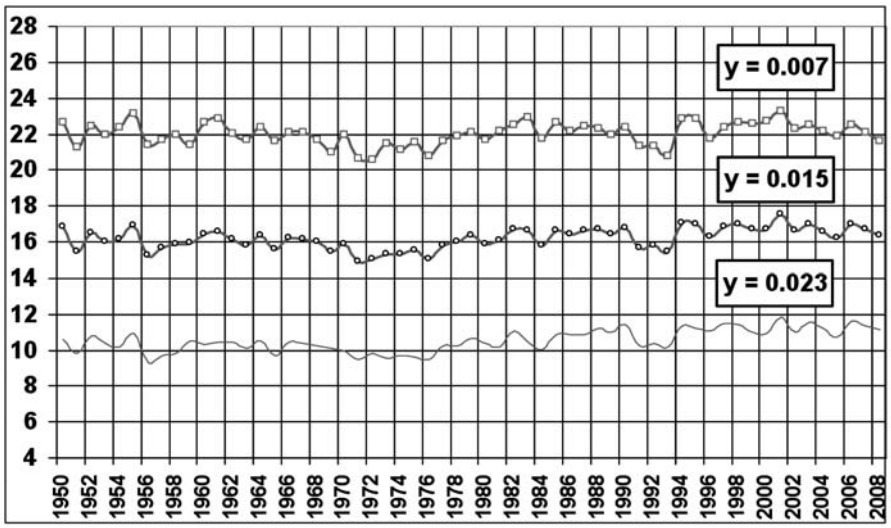

FIGURA 7. Evolución y tendencia de las temperaturas medias anuales registradas en los observatorios de núcleos «rurales» (<20.000 habitantes).

del valor de centre temperaturas máximas y mínimas que las series térmicas regionales muestran entre 1950 y 1972, es decir en el momento en que el efecto urbano comienza a dejarse sentir. Es más, este valor de tendencia entre temperaturas máximas y mínimas, tal y como hemos analizado, se mantiene muy constante en el análisis experimental reciente

(J. QUEREDA et al., 2009). De esta evolución y bajo la hipótesis experimentalmente verificada podemos inferir que la verdadera magnitud del ascenso térmico regional vendría representada, como máximo, por esa tendencia registrada en las temperaturas máximas y equivalente a 0.4 ºC entre 1950 y 2008. Un ascenso térmico que, en su mayor parte, se podría deber al *forcing* de la radiación solar.

2.3. El forzamiento solar y la temperatura

Factor por excelencia de la energía, la Radiación Solar ha mostrado y muestra variaciones de intensidad tanto en escala milenaria, o de gran longitud de onda, como en escala secular o de pequeña longitud de onda. En esta última 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. Estos ciclos o fases solares están integrados, a su vez, por varios ciclos básicos de manchas que dibujan ondas de unos once años de duración media. Sin embargo, y a lo largo de los últimos tres siglos, estos ciclos básicos o cortos de manchas se han sucedido con cadencias agrupadas de varios ciclos débiles o varios ciclos intensos sucesivos. Ello viene a dibujar un ciclo solar más sutil de 40 a 80 años de duración (figura 8).

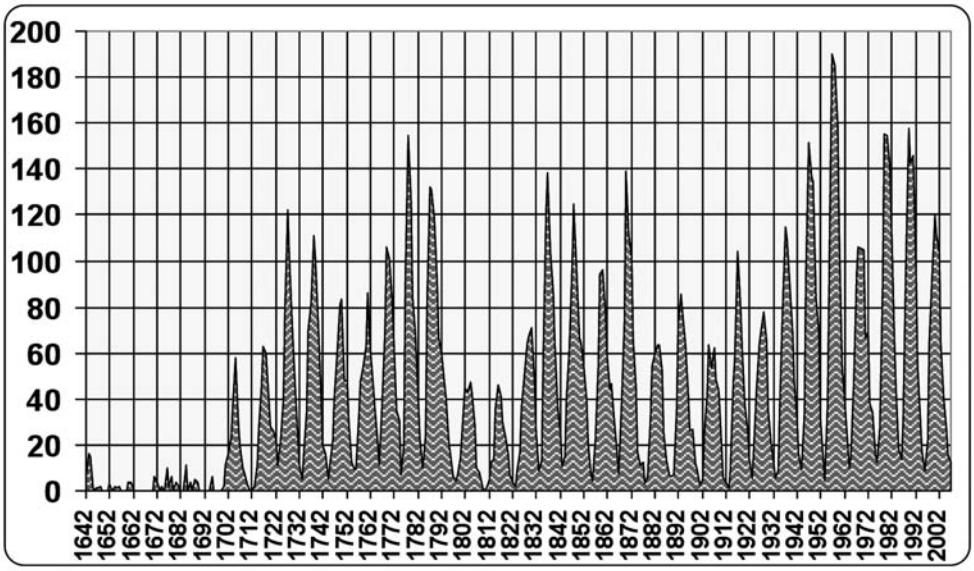

FIGURA 8. Evolución del número de Wolf de manchas solares (1700-2008).
Fuente: National Geophysical Data Center.

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 (figura 9). 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}C en los anillos de crecimiento, que muestran un menor contenido de carbono 14 durante las fases de menor radiación y pocas manchas.

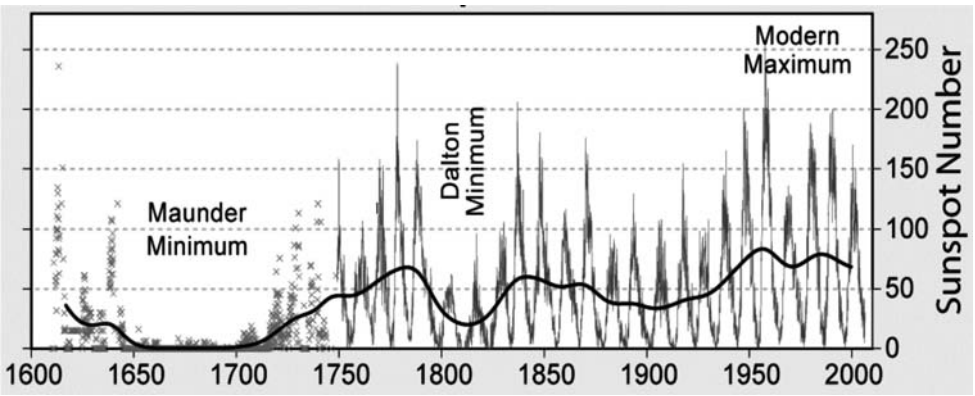

Figura 9. Evolución del número de manchas solares durante los úlimos 400 años. (Royal Greenwich Observatory, WDC, World Data center, USAF/NOAA Sunspot Data).

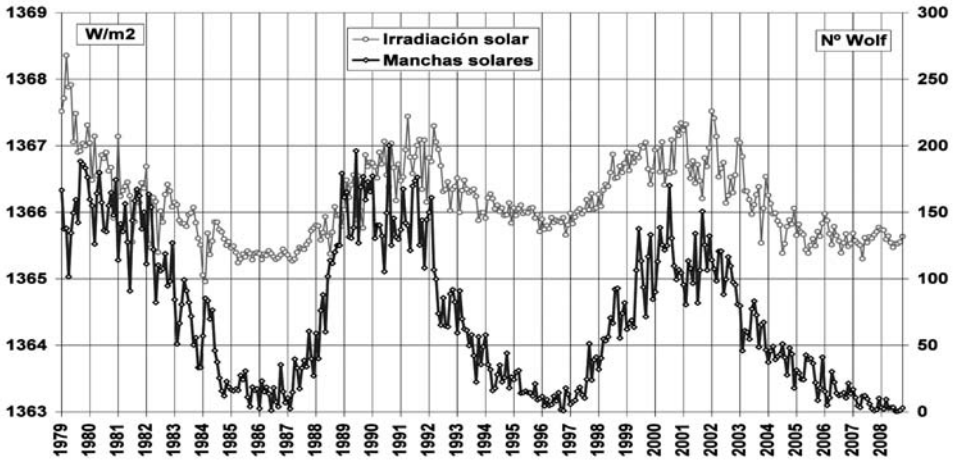

Figura 10. Evolución del número de manchas solares y de la actividad solar medida por satélite entre 1979 y 2008.
Fuente: National Geophysical Data Center y elaboración propia.

A lo largo de estos ciclos solares se producen apreciables diferencias en la energía incidente sobre la atmósfera terrestre. Estas diferencias han podido ser evaluadas muy recientemente con los registros de la energía solar efectuados por el satélite Nimbus durante los dos últimos ciclos completos o fases de manchas desarrollados entre 1979 y 2008 (figura 10). De este modo se puede sostener que las variaciones de intensidad energética podrían alcanzar un valor de hasta 3 W/m^2 entre el máximo cíclico y el seno o mínimo cíclico (N.O. de ADLER, et al., 2000).

Esta constante solar, debidamente integrada a lo largo de todo el año a través de las imágenes visibles del MSG, da un flujo solar medio anual de 340 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 2.5 a 3 W/m^2. Ello equivaldría a una reducción térmica de hasta 2.7 ºK. En términos del número de Wolf, esa diferencia térmica se establecería entre un valor 200 y un valor 0, paralelamente a la evolución de los ciclos solares.

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 1642-2008. Ello supone incrementos térmicos de hasta 0.7-0.8 ºK en ese periodo suprasecular. De tal modo que este *forcing* térmico de la actividad solar podría explicar así todo el incremento térmico registrado. Como hemos visto, la tendencia secular global de las temperaturas viene situándose en 0.7 ºC $\pm$ 0.2 ºC (IPCC, 2007) y en tan sólo 0.4 ºC, a tenor del incremento de las temperaturas máximas mediterráneas.

3. ¿Qué está sucediendo con las precipitaciones?

Esta interrogante trata de descubrir si el comportamiento de las precipitaciones se muestra coherente con las reducciones previstas en alguno de los modelos de cambio climático. En este sentido, lo que realmente se busca tras este epígrafe es la respuesta a una de las más inquietantes cuestiones o retos científicos que tiene ante sí la Climatología mediterránea: ¿Están disminuyendo las precipitaciones de la región mediterránea?

3.1. Las previsiones de los modelos de cambio climático

Las bases científicas de los dos últimos informes *Third and Fourth Assessment del IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático),* Climate Change, 2002 y 2007 de las Naciones Unidas, así como en la reciente Convención del *IPCC, IDS de* Valencia (2007), basadas en los modelos del Hadley Centre, y el Informe del GIEC (Grupo Internacional de Expertos) en febrero de 2007 establecen que nuestra región mediterránea será la más vulnerable de Europa a los efectos del cambio climático. Vulnerabilidad basada en que simultáneamente al aumento térmico global de 4 ºC a 5 ºC, entre 1990 y 2100 se produciría una reducción de nuestros recursos hídricos. El valor de la misma, en el modelo de tercera generación (HadCM3), podría alcanzar hasta un 25 % de las actuales magnitudes de escorrentía regionales, ya de por sí escasas con valores medios anuales < de 75 mm en las tierras de la Cuenca del Júcar.

Este es muy aproximadamente el escenario climático previsto por el IPCC'1998 para el año 2030 y basado en la simulación del Atmosphere-Ocean Model con un incremento del CO_2 del 1 % anual y usado por el United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para su Second Scientific Assessment of Climate (figura 11). Las medidas de escala global tratadas (M. HULME, 1994) mostraban un efecto coincidente sobre el periodo 1981-1995 y compatibles con el dipolo «desecación mediterránea -humidificación

sobre Europa occidental y nórdica» (J. C. ANDRÉ, et J. ROYER, 1999). La Región de Valencia asistiría a una reducción de hasta un 25 % de sus recursos pluviométricos en el horizonte del año 2030 (figura 11).

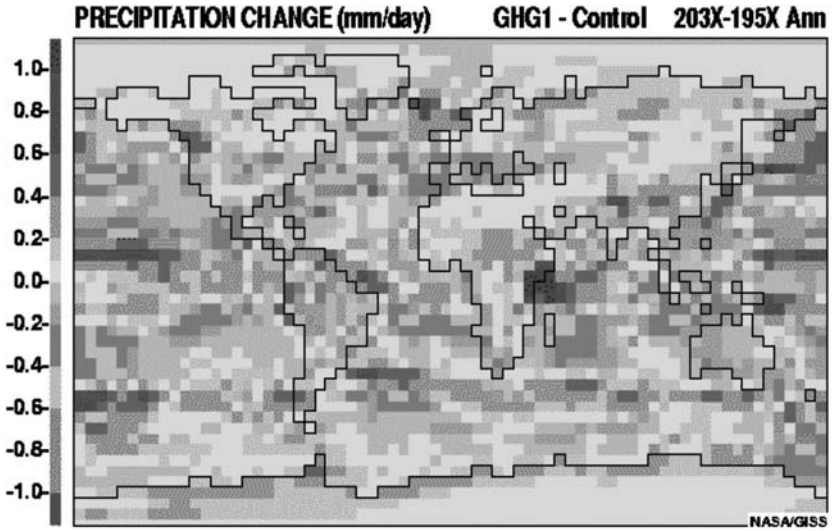

FIGURA 11. Escenario climático previsto por el IPCC'1998 para el año 2030. Simulación a 30 años del Atmosphere-Ocean Model.

La Cuenca Occidental del Mediterráneo, en el borde meridional de la zona templada entre los 35º N y los 45º N, podría estar abocada, de este modo, a experimentar impactos climáticos de gran intensidad. En consecuencia, a lo largo del siglo XXI, se podría asistir a una sensible readaptación de su escenario biogeográfico muy afectado por el aumento de las evapotranspiraciones y disminución de los recursos pluviométricos. Procesos ambos que los modelos preconizaban sobre la base del progresivo alejamiento de la zona frontogenética polar.

En efecto, si admitimos las hipótesis, el desplazamiento hacia el Norte de la zona subtropical boreal de altas presiones reducirá considerablemente la extensión de la zona de lluvias invernales, ahora responsable de la alimentación en agua de la región mediterránea (H. FLOHN, 1979; J. QUEREDA et al., 1996). Este es el modelo dinámico que sigue figurando en las bases científicas del último informe del GIEC (2007). Un escenario de aridez que fué adoptado, como margen de notable seguridad, en la reciente planificación hidráulica en España (figura 12).

Sin embargo, esta tendencia regresiva no ha sido verificada en los registros actuales. En consecuencia, las proyecciones más recientes matizan esta tendencia de disminución pluviométrica sobre la vertiente mediterránea de España. La complejidad espacial y temporal de esta región determina que las incertidumbres persistan categóricamente en la proyección de este elemento climático. La conclusión más aceptada es que las precipitaciones no muestran tendencias significativas. Prueba de ello es el cambio de la precipitación anual previsto en la reciente generación de escenarios de cambio climático para España (MIMAM, 2007) (figura 13).

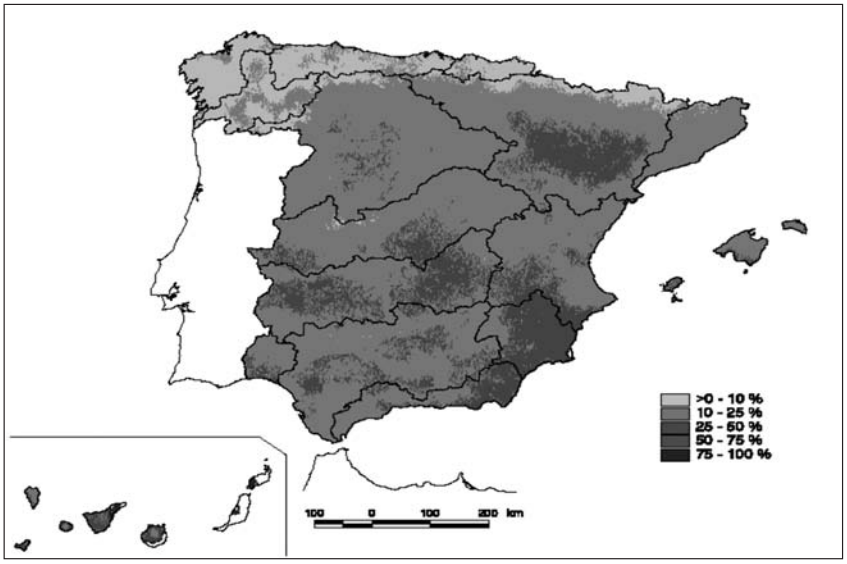

FIGURA 12. Libro Blanco del Agua. Impacto sobre los recursos hídricos a través de la reducción de la escorrentía. La Región mediterránea, con la vertiente sur de la Cuenca del Júcar y la Cuenca del Segura, podría sufrir una grave reducción de hasta el 50 % en sus escorrentías.

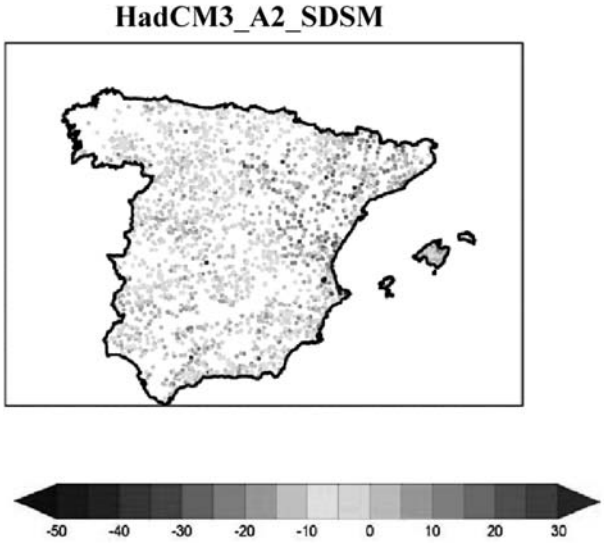

FIGURA 13. Comparación de las precipitaciones anuales del periodo 2011-2040 con respecto a las normales del periodo 1961-1990, modelo HadCM3 (INM, MIMAM, 2007).

La región mediterránea de las Cuencas del Júcar y del Segura estaría presidida por un escenario ciertamente complejo y no exento de contradicciones. La metodología del *downscaling* basada en modelos y funciones empíricas de escala local, permite dibujar una contrastada distribución regional de las precipitaciones a lo largo del primer tercio del siglo XXI. Así, mientras que en el sector septentrional, cuencas del Mijares y vertiente septentrional del Júcar, las precipitaciones podrían mantenerse e incluso superar a las medias 1961-1990, la vertiente sur de la Cuenca del Júcar ya vendría a experimentar una reducción de las lluvias. Esta reducción podría alcanzar incluso hasta un 30 % en la Ribera Baja y zonas de la Cuenca del Segura. Una reducción que contrasta netamente con el aumento de lluvias a que asistiría la mayor parte de la Cuenca del Ebro y vertiente ibérica de la Cuenca del Júcar.

La explicación de estos complejos procesos pluviométricos podría radicar en las interacciones atmósfera-mar. En efecto, con las limitaciones que todavía se alzan para una buena comprensión del sistema climático, parece bien establecido que los océanos juegan un papel determinante por su capacidad de acumular y transportar calor, así como a regular el ciclo del agua. En síntesis, puede reconocerse que la atmósfera y el océano contribuyen a partes iguales en el transporte de calor excedentario desde las zonas intertropicales hacia las zonas polares. De este modo, las circulaciones oceánicas y atmosférica están íntimamente ligadas de tal manera que toda perturbación de una repercute en la otra.

Bajo esta consideración es posible aceptar que las perturbaciones térmicas y pluviométricas vinculadas al ascenso latitudinal de las grandes estructuras atmosféricas de la circulación general de la atmósfera, podrían venir amplificadas por modificaciones más o menos catastróficas de la circulación oceánica. Así podría acontecer mediante una atenuación o reorientación del transporte de calor por la corriente del Golfo y la deriva Nor-Atlántica. El incremento de las precipitaciones y el calentamiento que el efecto de invernadero puede causar en el Atlántico N se traducirían en una disminución de la densidad de sus aguas. Este debilitamiento puede causar un rápido colapso de la THC (Circulación termohalina). Aunque no es probable, según las actuales investigaciones, un cambio crítico en el THC durante la presente centuria, algunos efectos podrían dejarse sentir.

Ciertamente, en un clima futuro sin la actual THC, o con un gran debilitamiento de la misma, los mayores impactos se experimentarían en las temperaturas del Atlántico N y Europa. Así, bajo un modelo de THC colapsado, en el año 2050 las temperaturas del Atlántico N podrían descender hasta –12ºC, con enfriamientos simultáneos de 1 a 3 ºC en UK y Escandinavia (M. WELLINGA and R.A. WOOD, 2007). Tal y como hemos visto, estos enfriamientos del Atlántico Norte demandarían una aportación de calor procedente de las ciclogénesis mediterráneas. Unas ciclogénesis que estarían activadas por frecuentes modelos de bloqueo vinculados al calentamiento del Atlántico central y enfriamiento de las zonas costeras del norte de Europa. Unas complejas interacciones que podrían explicar ese aumento de las precipitaciones que en el nordeste peninsular vienen proyectando los modelos más recientes.

3.2. ¿Se pueden verificar ya estas hipótesis en la región mediterránea? La evolución pluviométrica en tierras de Valencia y de Murcia a través del Standard Normal Homogenity Test (SNHT)

En consecuencia, la respuesta a las grandes incertidumbres mostradas por los modelos obliga a realizar un cuidadoso análisis de la evolución pluviométrica regional (figura 14). Un análisis más necesario que en el caso de la temperatura en que todos los modelos coinciden en su aumento. Al igual que en el caso de la evolución térmica, y en aras de la calidad de los datos, este análisis ha sido efectuado de modo riguroso mediante la metodología de Alexandersson.

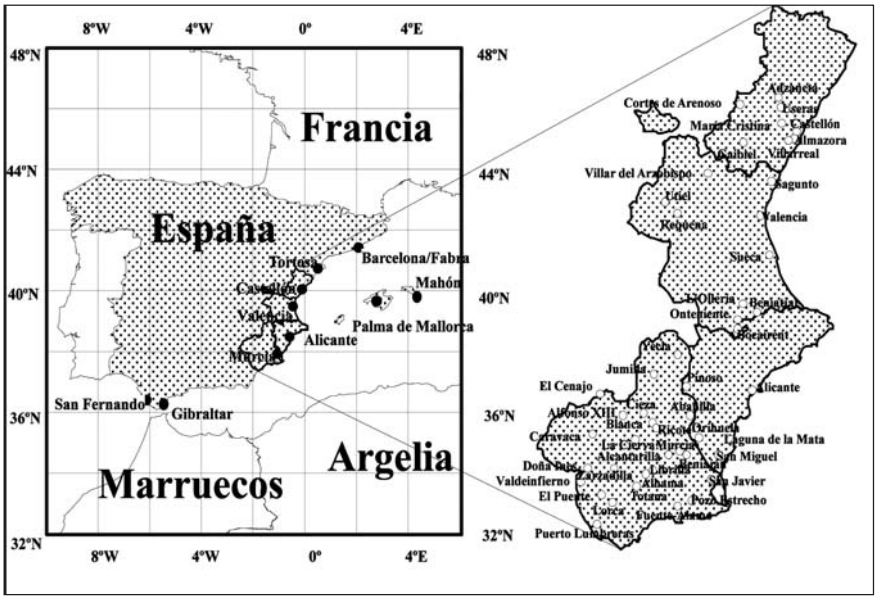

FIGURA 14. Mapa de la red de observatorios de primer y de segundo orden de la Región mediterránea española utilizada en el estudio pluviométrico.

Tal como hemos expuesto en el tratamiento de las series térmicas, el test de Alexandersson viene a definir una serie pluviométrica como homogénea con relación a una serie sincrona de referencia si los cocientes entre observatorios simultáneos forman una serie de valores aleatorios. Una utilización de coeficientes, en lugar de las diferencias aplicadas en temperaturas, que permite minimizar mejor el ruido en las series comparadas. Todo ello tal y cómo se expresa en el artículo de H. ALEXANDERSSON y A. MOBERG (1997) «para detectar no homogeneidades relativas, nosotros formamos ratios (por tradición usadas en los estudios de precipitaciones) o diferencias (pensadas para ser usadas en datos de temperatura)».

Las rupturas de homogeneidad detectadas han sido corregidas mediante la metodología de Alexandersson y Moberg. Este método, como ya expusimos, consiste en tratar la serie a corregir con el factor de ajuste o coeficiente deducido de la relación entre la media del periodo a corregir y la media del periodo homogéneo y de ajustar los valores del periodo a corregir por ese factor de ajuste.

Los resultados obtenidos sobre las tendencias pluviométricas registradas en medio centenar de observatorios de las tierras de Valencia y Murcia permiten extraer unas conclusiones preliminares:

1) La evolución pluviométrica de las regiones de Valencia y de Murcia, durante la segunda mitad del siglo XX y comienzos del siglo XXI (1950-2007), ha mostrado una tendencia de disminución de lluvias. No obstante, el valor de reducción obtenido carece de significación estadística ya que supone 0.16 mm/año. Ello equivaldría a una reducción de tan sólo 9 mm a lo largo de ese periodo y un 4 % en tendencia secular (figura 15).

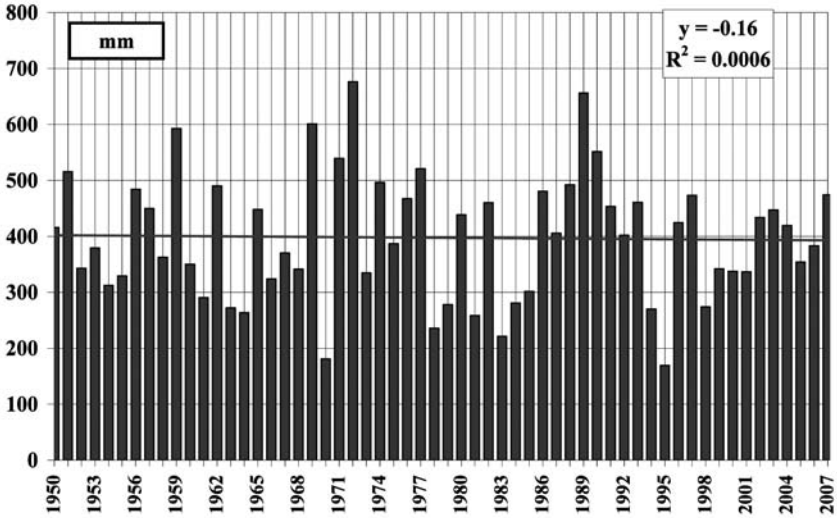

FIGURA 15. Evolución de las precipitaciones en la región mediterránea española entre 1950 y 2008.

2) En consecuencia, la disminución de las lluvias entre 1950 y 2008, no adquiere significación estadística (coeficiente de determinación $R^2 = 0.0006$. De ahí que la aplicación de diversos tests no paramétricos como el de Mann-Kendall (figura 16) muestren que esas tendencias carecen significación estadística. En efecto, en este test, las dos curvas, serie directa y serie retrógrada, muestran la estadística corrección de rango. Así, en el caso de una tendencia significativa, la representación gráfica da una intersección de las curvas, mientras que en ausencia de toda tendencia las curvas se entrecruzan. Este es precisamente el caso presente, en el que todas las anomalías registradas se insertarían dentro de la variabilidad natural del clima.
3) La tercera conclusión obtenida es el contraste entre la evolución pluviométrica seguida por el sector septentrional y central de la Cuenca del Júcar, vertiente ibérica sobre las provincias de Valencia y Castellón, y la seguida por el resto del sector mediterráneo, vertiente bética sobre las provincias de Alicante y Murcia. Así, la tendencia de los sectores septentrionales muestra un crecimiento de las precipitaciones, con valor de 0.18 mm/año, mientras que la tendencia del territorio meridional es claramente negativa, con valor de -0.38 mm/año (figura 17).

Esta gran inseguridad que observamos en el análisis de las tendencias pluviométricas regionales está causada por la irregularidad del régimen mediterráneo de lluvias y por la falta de series con longitud suficiente. Al efecto de superar esta incertidumbre, la mejor aproximación al conocimiento de la tendencia secular de las lluvias viene proporcionada por las series de los cuatro observatorios de las capitales regionales que cuentan con datos desde 1885. El valor de tendencia que desprenden estas series iniciadas a fines del siglo XIX es ligeramente negativo, con un valor secular descendente de tan sólo el 1 % (figura 18).

Este valor descendente de las precipitaciones carece de significación ya que vendría muy determinado por el record histórico de la serie en 1884, año de notables enfriamientos y lluvias bajo la alteración atmosférica del volcán Krakatoa. Buen exponente de ello es

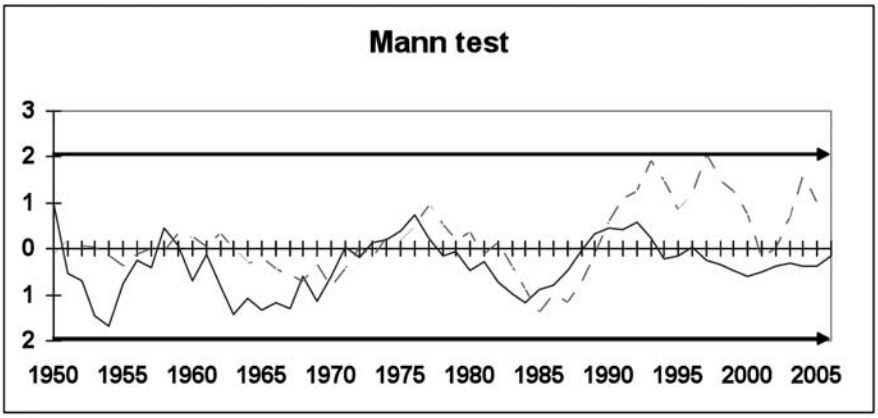

FIGURA 16. Test de Mann-Kendall aplicado sobre la serie media regional de precipitaciones anuales. Las líneas horizontales en trazos fuertes representan el intervalo de confianza al 95 % del test. La configuración de las curvas muestra que no existe tendencia significativa.

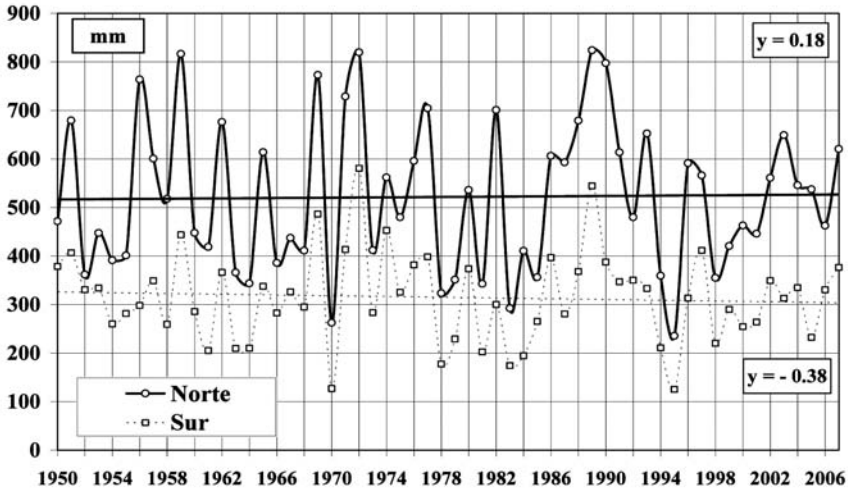

FIGURA 17. Contraste entre la evolución pluviométrica seguida por el sector septentrional de las tierras valencianas y la seguida por el resto del sector mediterráneo en tierras de Alicante y Murcia.

que si las precipitaciones regionales valencianas se analizan desde el año 1900 hasta el año 2008, el valor de tendencia es positivo. Consecuentemente, la evolución de las precipitaciones valencianas no muestra una tendencia significativa. La complejidad temporal de las lluvias nos lleva a sostener que no se observa variación alguna en los totales anuales de precipitación dentro de una configuración cíclica irregular (figura 19).

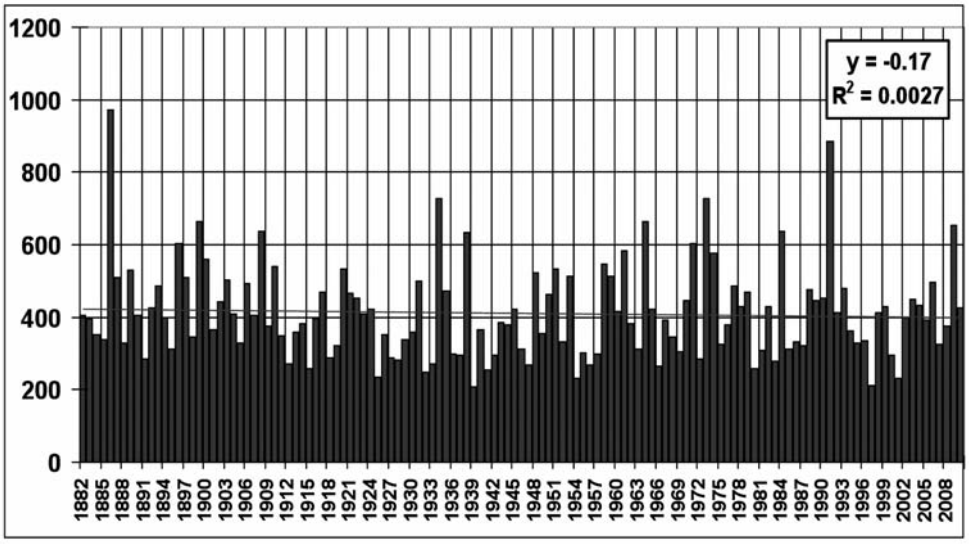

FIGURA 18. Evolución de las precipitaciones valencianas (1882-2008) en promedio de los observatorios de Alicante, Valencia y Castellón. El valor de tendencia es una pura abstracción matemática ya que equivaldría a una reducción del 5 %.

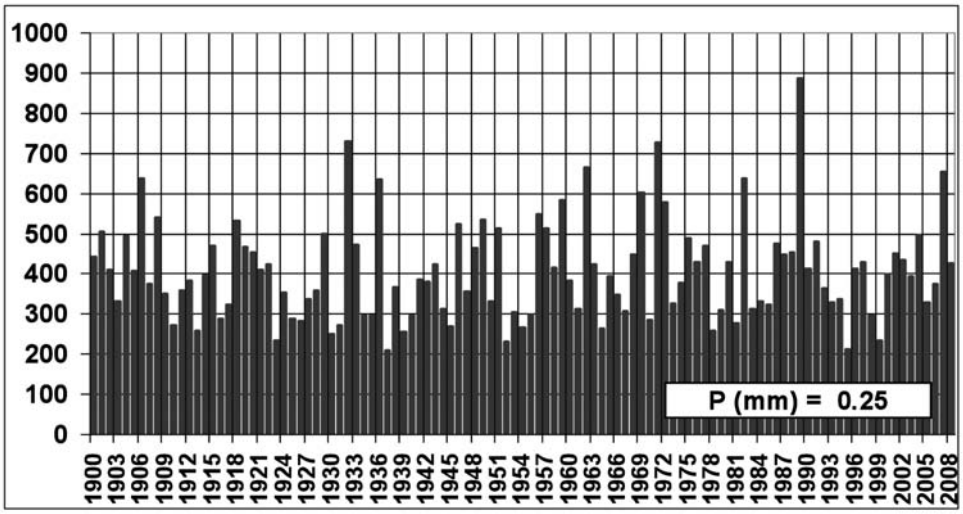

FIGURA 19. Evolución secular (1900-2008) de las precipitaciones valencianas en promedio de los observatorios de Alicante, Valencia y Castellón.

4. Conclusiones

A pesar de la formidable aportación de los modelos, numerosas incertidumbres persisten en la hipótesis del calentamiento climático y de sus efectos. Situados ante este reto, en la región mediterránea española, podemos asumir que toda respuesta a los cambios y efectos climáticos estará expuesta a grandes errores si no se parte de un conocimiento riguroso del valor del tendencia regional de los grandes parámetros climatológicos. En este sentido, el objetivo básico del presente trabajo ha tratado de establecer rigurosamente el valor de tendencia de los grandes parámetros climatológicos para elevarnos del *a quo* actual al *ad quem* futuro.

Tras la rigurosa homogeneización de las series climáticas temporales el análisis ha permitido concluir que, desde mediados del siglo XX, se ha asistido a una elevación de las temperaturas. El valor de esta tendencia, desagregado el efecto térmico urbano, habría sido inferior a 0.4-0.5 ºC en el período 1950-2008. Un aumento térmico que, muy posiblemente, podría estar inducido por el incremento registrado en la actividad energética solar. La escasa magnitud de valor en este calentamiento puede explicar que el comportamiento de las precipitaciones no haya mostrado tendencias significativas. De ahí que las proyecciones más recientes maticen esta tendencia de disminución pluviométrica sobre la vertiente mediterránea de España. Prueba de ello es el cambio de la precipitación anual previsto en la reciente generación de escenarios de cambio climático para España (MIMAM, 2007).

5. Referencias bibliográficas

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.

ADLER, N.O., ELIAS, A. G. (2000): «Solar variability associated to ionospheric, stratospheric and tropospheric parameters», *ESA, Special publications*, 509-512.

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.

ANDRÉ, J. C., et ROYER, J. F., (1999): «Les fluctuations à court terme du climat et l'interprétation des observations récentes en termes d'effet de serre», *La Météorologie*, 8ª, 28, pp. 12-22.

BODEN, T. A., KAISER, D. P., SEPANSKI, R. J., STOSS, F. W. (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.

CARIOLLE, D., (1995): «Débat sur le changemenet climatique», *La Météorologie*, 8ª série, 11, pp. 52-60.

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 Statistical Climatology*, June 22-26, 1992, Toronto, pp. J28-J32.

EASTERLING, D. R., HORTON, B., JONES, P.D., PETERSON, T.C., KARL, T.C., PRRKER, D.E., SALINGER, M.J., RAZUVAYEV, V., PLUMMER, N., JAMASON, P. and FOLLAND, C.K., (1997): «Maximum and Minimun Temperatures Trends for the Globe», *Science* 277, pp. 364-367.

FLOHN, H. (1979): «Notre avenir climatique: un Ocean Artique libre de glaces?». *La Météorologie*, VI, 16, pp. 35-51.

GAUDRY, A., MONFRAY, P., BONSANG, G., KAZAN, V., POLIAN, G. and LAMBERT, G. (1994): «Atmospheric CO_2 record from in situ measurements at Amsterdam Island». pp. 131-134. En T. A. BODEN, D. P. ĶAISER, 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, Tennessee, U.S.A.

HULME, M. (1994): «Century-scale time series of regional rainfall anomalies in Africa». pp. 964-973. 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.

IPCC Working Group I Third Assessment Report (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Draft version in *http://www.gcrio.org/online.html*. 18 pp.

ISAKSEN, I. S. A. and HOV, O. (1987). «Calculations of trends in the troposferic concentration of O_3, OH, CO, CH_4 and NO». *Tellus*, 39B, pp. 271-285.

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.

JONES, P. D., WIGLEY, T. M. L., BRIFFA, K. R., (1994): «Global and hemispheric temperature anomalies-land and marine instrumental records». pp. 603-608; in BODEN, T. A., KAISER, D. P., SEPANSKI, R. J., STOSS, F. W. (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.

KUKLA, G., GAVIN, J. and KARL, T. R. (1985). «Impact of urban heating on recent temperature trends in eastern and central North America», Boston, *Americ. Meteor. Society*, pp. 23-24.

LAMARQUE, Ph., JOURDAIN, S., (1994): «Élaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l'étude de l'évolution climatique». *La Météorologie*, 8e série, 7, pp. 61-69.

LEE, D. O. (1992): «Urban warming?-An analysis of recent trends in London's heat island». *Weather*, 47, 2, pp. 50-56.

LÓPEZ GÓMEZ, A. (Coord.), FERNÁNDEZ GARCÍA, F., ARROYO, F., MARTÍN VIDE, J. y CUADRAT, J. Mª. (1993): *El clima de las ciudades españolas*, *Cátedra*, 268 pp.

LOCKWOOD, J. G. (1998): «Future Trends in daytime and Night-Time Temperatures», *Weather*, 53, (3), pp. 72-78.

MARLAND, G., BODEN, T. A. and ANDRES, R. J. (2000): «Global CO_2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-1997». *NDP-030*, 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.

MIMAM (2000). *El libro Blanco del Agua en España*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, 637 pp.

MIMAM (2001): *Plan Hidrológico Nacional*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, 5 vols.

MITCHELL, J. R., DZERDZEEVSKII, J. M., FLOHN, H., HOYMEYR, W. L., LAMB, H. H., RAO, K. N., and WALLEN, C. C. (1966), *Climatic Change*, *T.Note No*.79 WMO, Ginebra, p. 78.

MOBERG, A. and 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*, pp. 35-54.

QUEREDA, J., (1976): *El clima de la Provincia de Castellón*, Excma. Dip. Provincial, Burgos, 134 pp.

QUEREDA SALA, J., GIL OLCINA, A., OLCINA CANTOS, J., RICO AMORÓS, A., MONTÓN CHIVA, E., and ESCRIG BARBERÁ, J., (2000). «Climatic Warming in the Spanish Mediterranean, Natural Trend or Urban Effect», *Climatic Change*, 46, 4, 4. Stanford University, Kluwer Academic, pp. 473-483.

QUEREDA SALA, J., GIL OLCINA, A., OLCINA CANTOS, J., RICO AMORÓS, A. MONTÓN CHIVA, E. and ESCRIG BARBERÁ, J. (2001): «Le réchauffement climatique à l'Espagne». *La Météorologie*, 32, pp. 40-46. Societé M. de France, Paris.

QUEREDA, J., RUESCAS, A., MONTON, E., ESCRIG, J., and MOLLÁ, B. (2004): «Detection of the urban effect over temperature trend by means of NOAA-AVHRR Imagery», *MeCeo*, *First Mediterranean Conference on Earth Observation,* Belgrade, pp. 32-39.

QUEREDA, J., MONTON E., and ESCRIG J., (2004): «Resultados preliminares del Plan experimental de observaciones térmicas en la Comunidad Valenciana», *Cuadernos de Geografía*, Univ. de Valencia, pp. 1-15.

QUEREDA, J., MONTON, E. y ESCRIG, J., (2009): *Evaluación del cambio climático y de su impacto sobre los recursos hídricos en la Cuenca del Júcar*. GVA, Valencia, 165 pp.

SNEYERS, R.: (1975): *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Note technique nº 143, Organisation Météorologique Mondiale, Genève, 192 pp.

SPANGLER, W. M. and JENNE, R. L. (1999): «Daily and Monthly Lat-lon Sea Level Pressure Grids (Northern Hemisphere, Jan 1899 to current)». Dataset 010.0, Data Support Section. Scientific Computing Division. National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado.

VELLINGA, M. AND WOOD, R.A. (2007): «Global impacts of a collapse of the Atlantic TC», *Climatic Change*, 54, pp. 251-267.

VINNIKOV, K. Ya, GROISMAN, P. Ya and LUGINA, K. M. (1994). «Global and hemispheric temperature anomalies from instrumental surface air temperature records». pp. 615-627, in BODEN T. A., KAISER D. P., SEPANSKI R. J., STOSS F. W. (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.

VINNIKOV, K. Ya. et al. (1987): «Mean Air Temperature variations of the Northern Hemisphere for 1841-1985». *Soviet Meteorology*, 1, pp. 37-45.

WILSON, H. and HANSEN, J. (1994): «Global and hemispheric temperature anomalies from instrumental surface air temperature records». pp. 609-614, in BODEN T. A., KAISER D. P., SEPANSKI R. J., STOSS F. W. (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.