

# EFFECTOS DE LA NUBOSIDAD E INSOLACIÓN EN LAS TEMPERATURAS RECIENTES DE ESPAÑA

Arturo SÁNCHEZ-LORENZO<sup>1</sup>, Javier SIGRÓ<sup>2</sup>, Josep CALBÓ<sup>3</sup>, Javier MARTÍN-VIDE<sup>1</sup>,  
Manola BRUNET<sup>2</sup>, Enric AGUILAR<sup>2</sup>, Michele BRUNETTI<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Grup de Climatologia, Universitat de Barcelona*

<sup>2</sup> *Grup de Recerca del Canvi Climàtic, Universitat Rovira i Virgili*

<sup>3</sup> *Grup de Física Ambiental, Dept. de Física i Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona*

<sup>4</sup> *Institute of Atmospheric Sciences and Climate, Bologna*

asanchezlorenzo@ub.edu, javier.sigro@urv.cat

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una comparación entre las temperaturas y la nubosidad e insolación en España desde mediados del siglo XX. Las variables utilizadas son los promedios anuales y estacionales de la temperatura media, máxima y mínima diaria, la oscilación térmica, la nubosidad (cubierta total y por tipología de nubes) e insolación. Con la excepción del invierno, las temperaturas máximas presentan, respecto a las mínimas, mejores correlaciones con la nubosidad e insolación, con valores negativos y positivos, respectivamente. Igualmente, los resultados confirman una alta correlación negativa entre nubosidad total y oscilación térmica. Por otra parte, es conocido que la evolución temporal de las temperaturas en España muestra un descenso desde principios de los 50 hasta comienzos de los 70, con un posterior fuerte ascenso hasta la actualidad. Este comportamiento concuerda, a grandes rasgos, con las tendencias detectadas en la nubosidad e insolación. Especialmente interesantes y controvertidas son las evoluciones temporales de las nubes bajas y altas, que presentan un claro descenso y aumento, respectivamente, desde los años 70 y elevadas correlaciones con las series termométricas en España.

**Palabras clave:** Cambio climático, España, Insolación, Nubosidad, Temperaturas.

## ABSTRACT

A comparison between temperature series and sunshine and cloudiness series over Spain has been performed from the second half of the 20<sup>th</sup> century. The temperature data set is constituted by series of mean, minimum, and maximum temperatures, and daily temperature range (DTR). Except for winter, maximum temperatures are better correlated with cloudiness and sunshine duration than minimum temperatures, being correlations of negative and positive signs respectively. Similarly, it is found that DTR varies inversely with total cloud cover. On the other hand, the temperature decrease in Spain in the 1950-70 period, and a subsequent steep increase until nowadays has been reported elsewhere. This behaviour follows approximately the patterns found in cloudiness and sunshine duration evolution. The evolution of low and high level clouds, which since the 1970s show a decrease and an increase in frequency respectively and high correlation with the temperature series, are particularly interesting and controversial.

**Key words:** Climate Change, Cloudiness, Spain, Sunshine duration, Temperatures.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso del último siglo la temperatura del planeta ha experimentado un incremento cifrado en  $0.74^{\circ}\text{C}$  (IPCC 2007), incremento que no se produce de manera uniforme, ni espacialmente ni en su distribución a lo largo del año. Tras un periodo de incremento térmico que se prolonga desde el siglo XIX hasta finales de la década de los 40, las décadas de los 50 y 60 registran un cierto enfriamiento que finaliza a principios de los 70, a partir del cual se produce durante los últimos 35 años el mayor incremento en la temperatura que se ha registrado instrumentalmente. Para España, son numerosos los trabajos que han constatado evoluciones temporales similares a la detectada a escala global, aunque recientemente BRUNET *et al.* (2007), empleando 22 series homogeneizadas, señala un aumento en las temperaturas que casi duplica ( $1.35^{\circ}\text{C}$ ) la media planetaria. Igualmente, se detectan dos periodos de aumento (1901-1949 y 1973-2005) y otro de decremento (1950-1972), desde principios del siglo XX. Tal y como sucede a escala global, las últimas décadas muestran un aumento sin precedentes en el periodo instrumental, vinculado principalmente a mayores tasas de aumentos durante la primavera y verano. Dicha diferenciación intraanual se observa igualmente en las temperaturas máximas y mínimas, teniendo las primeras una mayor tasa de aumento. Este último aspecto está en desacuerdo con los resultados obtenidos a escala global (VOSE *et al.*, 2005; IPCC, 2007). Igualmente, a escala global desde la segunda mitad del siglo XX hasta finales de la década de los 70 se registró una disminución significativa de la oscilación térmica diaria o *Daily Temperature Range* (DTR), aspecto ligado a unas mayores tasas de aumento de las temperaturas mínimas respecto a las máximas (DAI *et al.*, 1999; VOSE *et al.*, 2005). Aun así, dicho descenso en la DTR parece estar limitado a dicho período, pues durante las últimas dos décadas no se aprecian cambios significativos (VOSE *et al.*, 2005), aspecto que podría vincularse a una posible estabilización o descenso de la nubosidad a escala planetaria desde los años 80 (IPCC, 2007).

Por otra parte, el conocimiento de la variabilidad y tendencias de la radiación solar es fundamental por las importantes consecuencias físicas y biológicas que entraña, además de ser una variable crucial en los balances radiativos y energéticos desde una escala planetaria a microclimáticas. Igualmente, el análisis de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es de vital importancia a la hora de determinar las variaciones de las temperaturas planetarias.

En este sentido, se ha documentado una reducción generalizada de la radiación solar incidente entre los años 1950s y 1980s, estimándose en una disminución de  $0.51 \pm 0.05 \text{ Wm}^{-2}$  por año a nivel global, fenómeno denominado *global dimming* (STANHILL y COHEN, 2001). La evolución general descendente detectada se ha invertido en los últimos años, especialmente en las latitudes medias, y en la actualidad se observa una tendencia positiva, en lo que se ha denominado *global brightening* (WILD *et al.*, 2005). Aunque estos fenómenos no están completamente explicados (IPCC, 2007), buena parte de la comunidad científica los relaciona con cambios en la transmisividad de la atmósfera terrestre como consecuencia de variaciones en las concentraciones de aerosoles de origen antropogénico. Se ha argumentado que el aumento de los aerosoles antropogénicos podría estar enmascarando la dimensión real del calentamiento provocado por los gases de efecto invernadero (ANDREAE *et al.*, 2005), especialmente durante el período de *dimming* entre mediados del siglo XX y los años 80, y que

desde las últimas décadas se habría revelado en su completa dimensión, debido al *brightening*, el efecto de los mismos en el calentamiento global (WILD *et al.*, 2007). En Europa Occidental se ha evidenciado, a partir de series de insolación, que para los sectores más occidentales el *dimming* y el *brightening* sólo se identifican claramente durante la estación primaveral (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2008). En cambio, para la Península Ibérica también se ha constatado durante la estación estival (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007).

El presente trabajo muestra una comparación entre las temperaturas y la nubosidad e insolación en España desde mediados del siglo XX, a resolución anual y estacional. Se han realizado análisis de correlaciones entre las diferentes variables, con especial hincapié en las posibles vinculaciones entre los cambios recientes de la nubosidad e insolación y las tendencias termométricas de las últimas décadas.

## 2. DATOS

Las series termométricas empleadas están obtenidas de la *Spanish Daily Adjusted Temperature Series* (SDATS) descrita en BRUNET *et al.* (2006; 2007), y consta de 22 series individuales. Se han utilizado los promedios anuales y estacionales de la temperatura media diaria (TMED), la temperatura mínima diaria (TMIN), la temperatura máxima diaria (TMAX) y el DTR, durante el período 1951-2004.

Las bases de datos de insolación (período 1951-2004) y de nubosidad empleadas en el presente estudio están descritas en SANCHEZ-LORENZO *et al.* (2007) y CALBÓ *et al.*, (2008, este volumen). Se ha trabajado con una malla de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  de resolución espacial generada con una técnica de interpolación igualmente descrita en SANCHEZ-LORENZO *et al.* (2007). Se han generado las series conjuntas anuales y estacionales a partir del promedio de todos los puntos de malla (inclusive los situados sobre territorio portugués). Además de las series de nubosidad total (período 1951-2004), se han empleado series de frecuencias de tipología nubosa (período 1961-2004), agrupadas en 4 familias: nubes estratiformes (EST), nubes con desarrollo vertical (VER), nubes medias (MED) y nubes altas (ALT).

Así, los resultados presentados en este trabajo comparan series obtenidas para ámbitos geográficos que no concuerdan completamente. Este aspecto no se considera relevante pues para las series de nubosidad e insolación se han generado mallas que evitan distorsiones por un reparto no homogéneo de las series. Igualmente, se ha demostrado que la insolación posee una baja variabilidad espacial, pudiéndose capturar la misma señal climática sobre la Península Ibérica a partir de un reducido número de series (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2008).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3. 1. Análisis de correlaciones entre las diferentes variables analizadas

Se han correlacionado, mediante la  $r$  de Pearson, las diferentes variables termométricas (temperaturas medias, mínimas, máximas y DTR) con las series de insolación y nubosidad, limitándose al período 1961-2004 dichas correlaciones por la disponibilidad de datos en la tipología nubosa.

Los resultados obtenidos (Tabla 1) confirman correlaciones significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ), aunque modestas, entre las TMED y la insolación ( $r = 0.33$ ) y la nubosidad ( $r = -0.33$ ) anualmente. Estacionalmente existen diferencias marcadas, con correlaciones altamente significativas, y con el mismo signo que las anuales, en primavera, y con el signo opuesto en invierno. En cuanto a las TMIN, destaca claramente el invierno con correlaciones altamente significativas con la insolación ( $r = -0.65$ ) y nubosidad ( $r = 0.67$ ), mientras que en el resto del año no existen prácticamente correlaciones significativas. En cambio, las TMAX presentan correlaciones significativas en las series anuales y estacionales, con excepción del invierno, destacando los valores obtenidos para la primavera. Así, aumentos de la insolación (nubosidad) se vinculan a aumentos (descensos) de la TMED anual, especialmente durante la primavera, con una clara influencia de las TMAX. Una excepción es el invierno, donde a mayor insolación (nubosidad) se detecta un descenso (aumentos) de las TMED, especialmente derivado de su impacto en las TMIN.

<b>Insolación</b>	Año	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
TMED	<i>0.33</i>	<b>-0.41</b>	<b>0.62</b>	+	+
TMIN	+	<b>-0.65</b>	<b>0.39</b>	+	-
TMAX	<b>0.41</b>	-	<b>0.73</b>	<b>0.39</b>	<b>0.49</b>
DTR	<b>0.52</b>	<b>0.90</b>	<b>0.88</b>	<b>0.66</b>	<b>0.86</b>
<b>Nubosidad total</b>					
TMED	<i>-0.33</i>	<b>0.41</b>	<b>-0.54</b>	<b>-0.43</b>	-
TMIN	-	<b>0.67</b>	-	-	+
TMAX	<b>-0.47</b>	+	<b>-0.68</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.50</b>
DTR	<b>-0.80</b>	<b>-0.94</b>	<b>-0.89</b>	<b>-0.84</b>	<b>-0.88</b>

Tabla 1: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS SERIES TERMOMÉTICAS Y LA INSOLACIÓN Y NUBOSIDAD, PARA EL PERIODO 1961-2004. SE INDICAN EN CURSIVA LAS CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS AL  $\alpha \leq 0.05$ , Y EN NEGRITA AL  $\alpha \leq 0.01$ . PARA LAS NO SIGNIFICATIVAS SÓLO SE INDICAN LOS SIGNOS.

Los resultados obtenidos igualmente confirman la alta correlación entre la DTR y la insolación o nubosidad total (Tabla 1), especialmente para esta última donde las correlaciones a resolución anual y estacional siempre están por encima del -0.80, con claro máximo en invierno ( $r = -0.94$ ). En la Fig.1 se aprecia cómo la variabilidad interanual e interdecadal de la nubosidad total está inversamente ligada a los cambios experimentados por la DTR. Así, aumentos (descensos) de las DTR están asociados a descensos (aumentos) de la nubosidad. Considerando la escasez y limitaciones derivadas de las observaciones de la nubosidad, se confirma que la DTR puede ser un excelente estimador de la propia nubosidad en España.

Respecto a los diferentes tipos de nubes (Tabla 2), los resultados muestran una semejanza de las nubes EST y VER, en cuanto al signo y significación de los valores, respecto a los obtenidos con la nubosidad total. Es decir, un aumento (descenso) de las frecuencias de nubes bajas está ligado a descensos (aumentos) de las temperaturas, especialmente durante la primavera. De nuevo, el comportamiento invernal es el contrario. Igualmente, se aprecian correlaciones altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) con la DTR, aunque con mayores correlaciones en las EST respecto a las VER. En cambio, las nubes MED muestran

correlaciones significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) y positivas con las series anuales de TMED, TMIN y TMAX, lo que indica que a diferencia de las nubes bajas la presencia de dichas nubes se vincula a anomalías positivas de las temperaturas. Lo interesante al descender a escala estacional es que para las TMED y TMAX dichas correlaciones sólo son significativas y positivas para el invierno. En las nubes MED no existe correlación significativa con la DTR a resolución anual, aunque estacionalmente presenta correlaciones negativas y significativas, pero con valores menores que las familias de nubes bajas. Finalmente, las nubes ALT muestran las mayores correlaciones ( $\alpha \leq 0.01$ ) con las series de TMED, TMIN y TMAX a resolución anual, presentando valores positivos ( $r \geq 0.80$ ). Dichas correlaciones son siempre de signos positivos y significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) a resolución estacional, aunque destaca la primavera como la parte del año donde las nubes ALT explican una mayor varianza de las temperaturas. A diferencia del resto de series, y exceptuando la primavera, las series de ALT no muestran correlaciones significativas con la DTR.

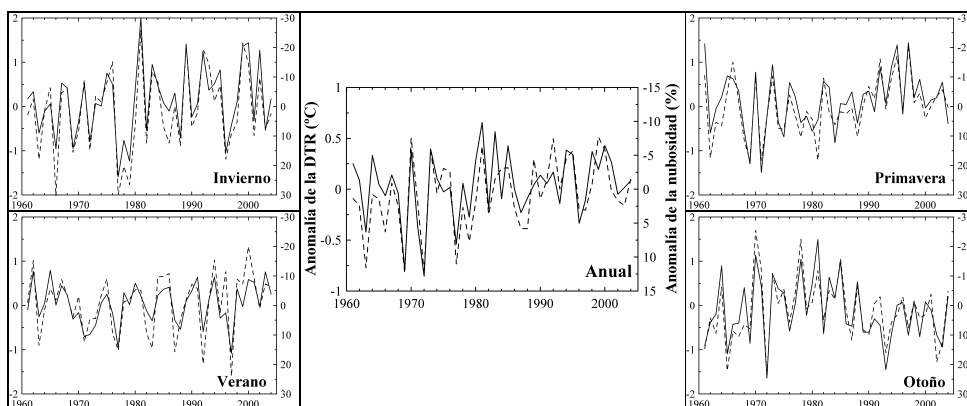


Fig. 1: Evolución anual y estacional de la DTR (línea continua) y la nubosidad total (discontinua) en España (1961-2004). La escala de la segunda aumenta hacia abajo.

### 3. 2. Efectos del dimming/brightening en las tendencias de las temperaturas (1951-2004)

Se ha usado el test no paramétrico de Mann-Kendall para evaluar la significación ( $\alpha \leq 0.05$ ) de todas las tendencias lineales calculadas en el presente trabajo

En la Fig. 2 se muestra la evolución temporal de la TMED, expresadas como anomalías (°C) respecto a la media del periodo 1961-1990, en base anual y estacional y para el periodo 1951-2004. Tal y como se mostraba en BRUNET *et al.* (2007), es evidente que durante las primeras dos décadas existe un ligero descenso de la TMED anual, con un posterior fuerte ascenso en las últimas tres décadas. Las tendencias, aplicadas al conjunto del periodo analizado y dos subperiodos: 1951-1972 y 1973-2004 (Tabla 3) confirman la existencia de tendencias significativas, a resolución anual y estacional, de la TMED para el conjunto del periodo analizado. Igualmente, se detecta la existencia de un único descenso significativo (-0.47°C/década) en la primavera durante el primer subperiodo, mientras que para el segundo, con significación en todas las series, la primavera (+0.74°C/década) y verano (+0.73/década)

muestran tendencias claramente superiores a las obtenidas en invierno (+0.32/década) y otoño (+0.33°C/década). Las TMIN y TMAX tienen un comportamiento similar a las TMED aunque, tal y como se constataba en BRUNET *et al.* (2007), presentan tendencias claramente superiores en las TMAX, tanto a resolución anual como estacional.

EST	Año	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
TMED	-0.38	+0.31	<b>-0.60</b>	<b>-0.54</b>	-0.34
TMIN	-	<b>+0.59</b>	-0.35	-0.38	+
TMAX	<b>-0.50</b>	-	<b>-0.72</b>	<b>-0.63</b>	<b>-0.61</b>
DTR	<b>-0.74</b>	<b>-0.95</b>	<b>-0.90</b>	<b>-0.81</b>	<b>-0.93</b>
<b>VER</b>					
TMED	-	<b>+0.44</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.41</b>	-0.31
TMIN	+	<b>+0.62</b>	-0.32	-	+
TMAX	-	+	<b>-0.64</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.56</b>
DTR	<b>-0.66</b>	<b>-0.71</b>	<b>-0.79</b>	<b>-0.83</b>	<b>-0.87</b>
<b>MED</b>					
TMED	<b>+0.57</b>	<b>+0.59</b>	+	+	+
TMIN	<b>+0.67</b>	<b>+0.71</b>	+0.37	+0.31	<b>+0.46</b>
TMAX	<b>+0.46</b>	+0.35	+	+	+
DTR	-	<b>-0.61</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.51</b>	<b>-0.68</b>
<b>ALT</b>					
TMED	<b>+0.86</b>	<b>+0.53</b>	<b>+0.85</b>	<b>+0.69</b>	<b>+0.50</b>
TMIN	<b>+0.87</b>	+0.38	<b>+0.85</b>	<b>+0.70</b>	<b>+0.59</b>
TMAX	<b>+0.81</b>	<b>+0.63</b>	<b>+0.81</b>	<b>+0.58</b>	+0.37
DTR	+	+	<b>+0.47</b>	+	-

Tabla 2: ÍDEM QUE TABLA 1 PERO PARA FAMILIAS NUBOSAS.

Dichos cambios en las temperaturas de España presentan ciertas similitudes con la evolución temporal de la insolación (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007), donde desde los años 60 y 70 se detecta a resolución anual un período de descenso o *dimming*, con un posterior aumento o *brightening* desde los 80 hasta la actualidad. A resolución estacional se observa que es durante la primavera y, en menor medida, el verano, cuando se producen dichos subperíodos de menor y mayor heliofanía. En la Fig. 2 se presenta, además de las TMED, la evolución temporal de la insolación desde mediados del siglo XX, donde se pone de manifiesto una aceptable correspondencia entre ambas curvas a escala anual y estacional, si se contempla un desfase temporal. En efecto, la discrepancia sustancial viene dada por una continuación del período de *dimming* (especialmente en la primavera y verano) hasta principios de los años 80, mientras que las temperaturas experimentan un ascenso desde principios de los 70, es decir, con una década de diferencia. Igualmente, durante el verano no se aprecia una fuerte recuperación de la insolación durante las últimas tres décadas, aspecto que contrasta con el fuerte aumento experimentado por las temperaturas en España. En cambio, durante la primavera se da el mejor ajuste entre las series, con una tendencia (Tabla 3) positiva y significativa de +3.66%/década durante el subperíodo 1973-2004, aunque con un ligero descenso durante los últimos años del período analizado, aspecto que también se refleja en la serie de TMED con un descenso de las temperaturas.

<b>1951-2004</b>	<i>Año</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>	<i>Otoño</i>
TMED	0.26	0.31	0.20	0.35	0.18
TMIN	0.24	0.26	0.18	0.33	0.19
TMAX	0.28	0.37	0.22	0.37	0.17
INSO	-	+	+	-0.92	-
TCC	-1.52	-	-2.10	-1.83	-
<b>1951-1972</b>	<i>Año</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>	<i>Otoño</i>
TMED	-	+	-0.47	-	-
TMIN	-	+	-	-	+
TMAX	-	+	-	-	-
INSO	-	-	-	-	-
TCC	-	+	-	-	-
<b>1973-2004</b>	<i>Año</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>	<i>Otoño</i>
TMED	+0.52	+0.32	+0.74	+0.73	+0.33
TMIN	+0.51	+	+0.66	+0.68	+0.48
TMAX	+0.53	+0.39	+0.82	+0.79	+
INSO	+	+	+3.66	+	-
TCC	-	-	-3.18	-	+4.23

Tabla 3: TENDENCIAS DECADELES SIGNIFICATIVAS ( $\alpha \leq 0.05$ ), EN 1951-2004 Y LOS DOS SUBPERIODOS, DE LA TEMPERATURA (°C), INSOLACIÓN (%) Y NUBOSIDAD (%). PARA LAS NO SIGNIFICATIVAS SÓLO SE INDICAN LOS SIGNOS.

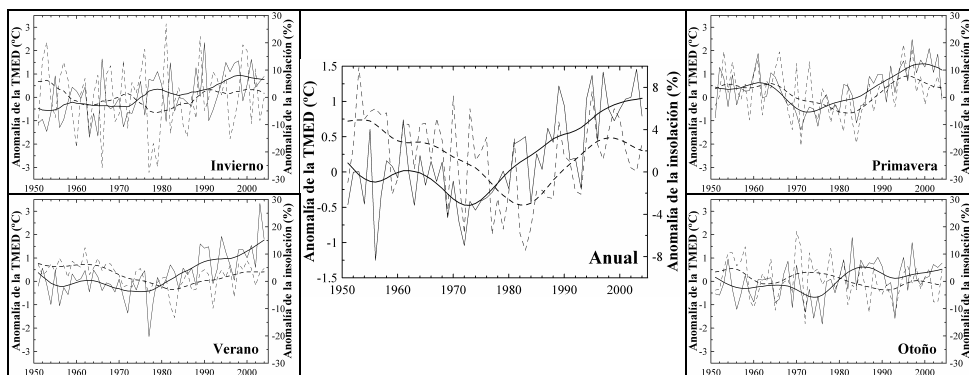


Fig. 2: Evolución anual y estacional de la TMED (línea continua) e insolación (discontinua) en España (1951-2004). La línea gruesa indica el valor una vez aplicado el filtro de paso bajo.

Es conocido que los cambios en la radiación solar incidente tienen un mayor efecto sobre las TMAX que sobre las TMIN, mientras que éstas últimas están más dominadas por los intercambios de radiación de onda larga derivadas de la capacidad de la atmósfera para absorber y remitir radiación infrarroja hacia la superficie terrestre (WILD *et al.*, 2007). Así, el *dimming* y *brightening* detectado en la primavera y verano concuerdan con los resultados obtenidos con las TMAX y TMIN. Así, las primeras presentan una menor tendencia durante el

conjunto del periodo analizado (por un mayor enfriamiento en el subperíodo 1951-1972), aunque con un mayor caldeoamiento durante las últimas décadas durante las cuales ya no ha existido el enmascaramiento de las temperaturas por parte del *dimming* anterior.

Las series de nubosidad total presentan, igualmente, una excelente correspondencia con las series de temperaturas. Así, la primavera y el verano muestran, desde los años 70, unos descensos de la nubosidad acordes a los cambios de las TMED (Fig. 3), aunque con tendencias para el subperíodo 1973-2004 sólo significativas en primavera (-3.18%/década) y otoño (+4.23%/década).

Se ha ampliado los análisis con los series de tipos de nubes, aunque debido a su limitación temporal (1961-2004) las tendencias lineales se han estimado sólo para el segundo subperíodo 1973-2004 (Tabla 4). De las nubes bajas destacan las tendencias descendentes y significativas de las EST en primavera (-4.18%/década) y verano (-5.10%). En cambio, las nubes MED y ALT presentan en general tendencias positivas y significativas a resolución anual y estacional. En la Fig. 3 se observa como la primavera y verano muestran una buena correspondencia entre las TMED y las EST y ALT, aspecto que refleja la posible incidencia de los cambios de la tipología nubosa, más que variaciones de la propia nubosidad total, en el fuerte aumento de las temperaturas experimentado en España durante las últimas décadas. Aunque el aumento de MED y ALT, especialmente en primavera y verano, donde se da un descenso de EST, podría deberse a una menor presencia de nubes bajas (que impiden o dificultan la observación de las capas medias y altas de la troposfera), no se puede descartar una mayor presencia de dichas nubes, o una redistribución de la tipología nubosa sin un cambio en la nubosidad total. Así, TREPTE y WINKLER (2004), para un lugar de Alemania, encuentran aumentos del 8%/década en la frecuencia de *Cirrus*, desde 1953, mientras la nubosidad total apenas cambiaba. Igualmente no debe descartarse, en esta mayor presencia de nubes altas, el posible efecto de las estelas de condensación de los aviones, que deben ser anotadas como nubes altas por los observadores meteorológicos (MINNIS *et al.*, 2004). Con todo, las nubes bajas se vinculan a forzamientos radiativos negativos (MACE *et al.*, 2006) y son las más eficientes a la hora de reducir las temperaturas, especialmente las máximas (DAI *et al.*, 1997; 1999). Así, el descenso detectado en las EST, sobretodo en primavera y verano, podría asociarse, especialmente si se mantienen estables o aumentan las nubes altas que presentan forzamientos radiativos positivos (MACE *et al.*, 2006), a una tendencia al calentamiento de la superficie terrestre. Dicho calentamiento podría estar asociado a una mayor entrada de radiación solar incidente (*brightening*), así como por una mayor remisión de radiación de onda larga, hacia la superficie, debido al aumento de las nubes altas y los gases de efecto invernadero.

#### 4. CONCLUSIONES

En España las temperaturas máximas presentan, respecto a las mínimas, mejores correlaciones con la nubosidad e insolación, con valores negativos y positivos respectivamente, siendo la primavera la estación del año donde dicha relación muestra una mayor dependencia. Una excepción es el invierno, donde las temperaturas mínimas se encuentran fuertemente ligadas a la variabilidad interanual de la nubosidad e insolación, y a su vez con signos contrarios en las correlaciones, es decir, positivas con la nubosidad y negativas con la insolación. Este hecho estaría vinculado a la importancia de los fenómenos de irradiación nocturna y la limitada acción solar diurna durante el invierno en comparación con el resto del año. Igualmente, los



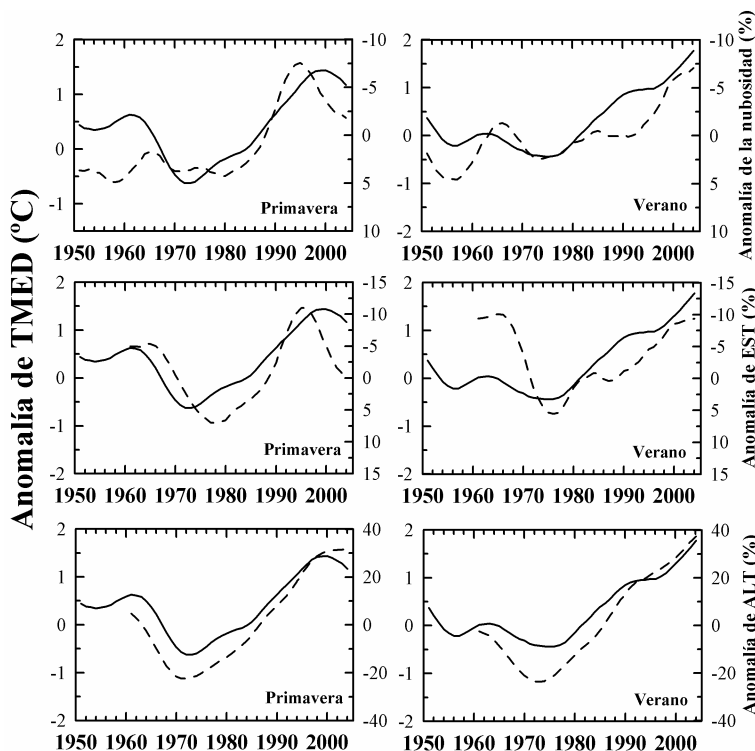


Fig. 3: Evolución primaveral (izquierda) y estival (derecha) de la TMED (línea continua) y la nubosidad total (fila superior), y familias de nubes EST (fila media) y ALT (fila inferior) (líneas discontinuas) en España (1951-2004). Nótese que sólo se muestran los valores ya suavizados por el filtro de paso bajo, que las series de EST y ALT están limitadas al período 1961-2004, y que las escalas de la nubosidad total y EST aumentan hacia abajo.

<b>1973-2004</b>	<i>Año</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>	<i>Otoño</i>
EST	-	-	-4.58	-5.10	-
VER	+	+	-	-	-
MED	+9.05	+9.16	+7.59	+	+13.28
ALT	+21.33	+24.82	+20.45	+22.51	+18.84

Tabla 4: TENDENCIAS DECADEALES SIGNIFICATIVAS ( $\alpha \leq 0.05$ ), EN EL 1973-2004, DE LAS DIFERENTES FAMILIAS DE TIPOS DE NUBES (%). PARA LAS NO SIGNIFICATIVAS SÓLO SE INDICAN LOS SIGNOS.

resultados obtenidos confirman una alta correlación negativa entre la nubosidad total y la DTR, lo que justifica que se proponga a la segunda como un excelente estimador de las variaciones interanuales e interdecadales de la nubosidad en España.

Nuestros análisis muestran que variaciones de las temperaturas en España desde mediados del siglo XX parecen estar ligados, en mayor o menor medida, a modificaciones en los balances radiativos derivados de cambios en la radiación solar incidente, nubosidad total y/o redistribución de la tipología nubosa, y al incremento del efecto de los gases de efecto invernadero. Así, el *dimming* experimentado en España entre los años 50 y 70, posiblemente ligados a aumentos de la nubosidad y/o aerosoles antropogénicos, haya enmascarado parcialmente el calentamiento provocado por los gases de efecto invernadero. En cambio, durante las últimas 3 décadas, y sin *dimming*, las temperaturas han experimentado un aumento sin precedentes en la época instrumental de España, aspecto que se podría ligar como una respuesta, en su total magnitud, al aumento de gases de efecto invernadero. Igualmente, el presente estudio muestra la posible influencia de los cambios (o redistribución) de los tipos de nubes en las tendencias recientes de las temperaturas en España, donde se detecta un descenso y aumento de las nubes bajas y altas, respectivamente. Dichos tipos de nubes se asocian a opuestos forzamientos radiativos opuestos, de carácter negativo las primeras y positivo las segundas (MACE *et al.*, 2006). De todas formas, estas relaciones podrían no ser directas, en el sentido de que la nubosidad condicione las temperaturas. Por ejemplo, es posible que estén vinculadas a cambios en la circulación atmosférica que han favorecido una disminución o aumento de la nubosidad baja o alta, respectivamente.

Con todo, y aunque nuestros resultados están limitados por la calidad de las observaciones subjetivas de la nubosidad y a los problemas de la identificación de las nubes medias y altas desde superficie en presencia de nubes bajas, el análisis en mayor profundidad y detalle de los cambios en la radiación solar incidente, así como las tendencias de la cobertura y tipología nubosa, son aspectos de interés para profundizar en el estudio y comprensión del actual cambio climático en España.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación otorgada por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante los proyectos NUCLIER (CGL 2004-02325), NUCLIEREX (CGL 2007-62664), CLICAL (CGL-2006-13327-C04-03) y la beca FPU de que disfruta el primer autor. Los datos han sido proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología y por el Instituto de Meteorología de Portugal, así como por el Grup de Recerca del Canvi Climàtic de la URV

## 6. REFERENCIAS

- ANDREAE, M.O.; JONES, C.D. y COX, P.M. (2005). “Strong present day aerosol cooling implies a hot future”. *Nature*, 435, 1187–1190.
- BRUNET, M., *et al.* (2006). “The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850– 2003)”. *Int. J. Climatol.*, 26, 1777–1802.
- BRUNET, M., *et al.* (2007). “Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005”. *J. Geophys. Res.*, 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.
- CALBÓ, J.; SÁNCHEZ-LORENZO, A.; MARTÍN-VIDE, J. y BRUNETTI, M. (2008). Aspectos climatológicos y evolución temporal de la nubosidad en la Península Ibérica (1961-2004). *Este volumen*.

- DAI, A.; DEL GENIO, A.D. y FUNG, I.Y. (1997). "Clouds, precipitation and temperatura range". *Nature*, 386, 665-666.
- DAI, A.; TRENBERTH, K. y KARL, T.R. (1999). "Effects of Clouds, Soil Moisture, Precipitation, and Water Vapor on Diurnal Temperature Range". *J. Clim.*, 12, 2451-2473.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. En: SOLOMON, S., *et al.* (Eds.). United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- MACE, G. G.; BENSON, S. y KATO, S. (2006). "Cloud radiative forcing at the Atmospheric Radiation Measurement Program Climate Research Facility: 2. Vertical redistribution of radiant energy by clouds". *J. Geophys. Res.*, 111, D11S91, doi:10.1029/2005JD005922.
- SANCHEZ-LORENZO, A.; BRUNETTI, M.; CALBÓ, J. y MARTIN-VIDE J. (2007). "Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized dataset". *J. Geophys. Res.*, 112, D20115, doi: 10.1029/2007JD008677.
- SANCHEZ-LORENZO, A.; CALBÓ, J. y MARTIN-VIDE, J. (2008). "Spatial and temporal trends in sunshine duration over Western Europe (1938-2004)". *J. Clim.*, en prensa DOI: 10.1175/2008JCLI2442.1
- STANHILL, G. y COHEN, S. (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". *Agric. For. Meteorol.*, 107, 255-278.
- VOSE, R.S.; EASTERLING, D.R. y GLEASON, B. (2005). "Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004". *Geophys. Res. Lett.*, 32, L23822, doi:10.1029/2005GL024379.
- WILD, M.; *et al.* (2005). "From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface". *Science*, 308, 847-850.
- WILD, M.; OHMURA, A. y MAKOWSKI, K. (2007). "Impact of global dimming and brightening on global warming". *Geophys. Res. Lett.*, 34, L04702, doi:10.1029/2006GL028031.