

# IMPACTO DE LA NAO SOBRE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Esteban-Parra, M.J.<sup>(1)</sup>, D. Pozo-Vázquez<sup>(2)</sup>, Y. Castro-Díez<sup>(1)</sup> y Trigo, R.M.<sup>(3)</sup>

(1) Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, España  
[esteban@ugr.es](mailto:esteban@ugr.es), [ycaastro@ugr.es](mailto:ycaastro@ugr.es)

(2) Dpto. Física. Universidad de Jaén. E-23071 Jaén, España. [dpozo@ugr.es](mailto:dpozo@ugr.es)

(3) CGUL, Dpto. Física. Universidade de Lisboa. 1749-016 Lisboa, Portugal.  
[rtrigo@fc.ul.pt](mailto:rtrigo@fc.ul.pt)

## *Resumen*

En este trabajo, se estudia el impacto de la NAO sobre las temperaturas máximas y mínimas de la Península Ibérica. Para ello, se analizan series de temperatura máxima y mínima de la Península Ibérica en el periodo 1900-2000, usando el Análisis de Componentes Principales (PCA). La variabilidad espacio-temporal de toda la región puede ser descrita por el primer EOF y su serie PC correspondiente. Las relaciones entre las temperaturas extremas y el índice NAO se estudiaron en base estacional. Sólo durante el invierno los coeficientes de correlación son significativos al 95%, con los valores de 0.35 y -0.18 para las temperaturas máximas y mínimas respectivamente. El signo opuesto de estas correlaciones refleja el hecho de que, para los inviernos con NAO positivo (negativo), sobre la Península prevalece una circulación anómalamente anticiclónica (cyclónica) que reduce (aumenta) la precipitación, estando asociada con una menor (mayor) cubierta de la nubosidad. Así, cuando el índice NAO es positivo, durante el día, la radiación solar aumenta las temperaturas máximas, mientras que de noche, la temperatura mínima disminuye debido al mayor enfriamiento radiativo.

Por otro lado, estas relaciones no son estacionarias, variando notablemente en el tiempo. Así parece haber un aumento de la influencia de la NAO en las temperaturas en los últimos 30 años. Para analizar este hecho, se estudió el impacto de NAO en la nubosidad durante el periodo 1901-1995 usando la base de datos de alta resolución recientemente desarrollada por la CRU. Los resultados son significativos al nivel del 95% para el periodo 1960-90 con anomalías negativas de nubosidad para  $NAO > 1$  y positivas para  $NAO < -1$ . Sin embargo, no se encuentran resultados significativos para el periodo 1901-1959.

## *Abstract*

Here we intend to study the impact of NAO on the Iberian Peninsula maximum and minimum temperatures. To this end, maximum and minimum temperature series of the Iberian Peninsula have been analyzed for the period 1900-2000, using PCA. The spatio-temporal variability of the entire region can be described by the first EOF and their corresponding PC series. The relationships between extreme temperature and the NAO index were studied on a seasonal basis. Only during the winter the correlation coefficients are significant at the 95%, having values of 0.35 and -0.18 for maximum and minimum temperatures respectively. The opposite signs for these correlation coefficients reflect the fact that, for positive (negative) NAO winters, the Iberian Peninsula experience anomalously anticyclonic (cyclonic) circulation and reduced (enhanced) precipitation, and these are associated with reduced (enhanced) cloud cover. Thus, for NAO index  $> 0$ , the additional daytime solar radiation increases the maximum temperature, while the corresponding nighttime minimum temperature decreases due to outgoing long-wave radiation.

On the other hand, these relationships are non stationary, changing over time. There seems to be an increase on the influence of the NAO on the temperatures during the last 30 years. In order to explore this fact, we studied the impact of NAO on cloudiness during the period 1901-1995 using the recently developed high resolution database by CRU. Results are significant at the 95% level for the period 1960-90 with negative cloudiness anomalies for

NAO >1 and positive for NAO<-1, however, no significant results are found for the period 1901-1959.

*Palabras clave:*

NAO, temperaturas, radiación, nubes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La variable más analizada para evaluar el cambio climático debido al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera es la temperatura media global. La serie de esta la variable presenta un aumento significativo durante el periodo instrumental, del orden de 0.6 °C durante los últimos 135 años (Jones *et al.*, 1994). Esta variable, la temperatura media, es un agente fundamental en muchos cambios medioambientales (Hansen *et al.*, 1995). Los modelos de circulación general predicen aumentos en temperatura global entre 1 y 0.4° C durante los próximos 25 años (IPCC, 2001), junto con otros efectos que no son muy bien comprendidos. Por ejemplo, es necesario es investigar la forma en la que el calentamiento global repercutirá en el clima regional. Esto implica la necesidad para examinar cambios locales de temperatura y relacionarlos con los posibles impactos medioambientales en cada región. Además, para mejorar nuestro conocimiento sobre el clima, se necesita investigar las variaciones de los climas locales y regionales (Karl *et al.*, 1989). El uso de métodos empíricos puede revelar patrones generales de comportamiento de las variables climáticas y proporcionar estimaciones cualitativas de la forma y rango del cambio climático regional, útiles validar los modelos climáticos con base física (Giorgi y Mearns, 1991).

En el trabajo presente se analizan promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas de Península Ibérica. Los estudios climáticos en esta región tienen un interés particular, debido a la posición geográfica de la Península Ibérica, entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, y entre África y Europa. Además, esta región se localiza en la zona de transición del vórtice circumpolar y su clima está estrechamente ligado a la circulación atmosférica, particularmente a la Oscilación del Atlántico Norte. La variabilidad climática de este área también es de interés debido los problemas actuales provocados por las sequías y otros sucesos extremos, discutidos por algunos autores (Katz y Brown 1992) como indicadores óptimos del cambio climático y por las predicciones adversas de los modelos para el área mediterránea (IPCC, 2001). Es importante identificar regiones con un comportamiento similar, descubrir y cuantificar los posibles cambios y relacionarlos con posibles mecanismos causales.

## 2. DATOS

La base de datos usada en este estudio incluye promedios anuales y estacionales de temperaturas máximas y mínimas de 42 localidades ibéricas, incluyendo las Islas Baleares. Éstas se seleccionaron a partir de 65 series proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología (INM), atendiendo a criterios de calidad. Se incluyen también datos de Lisboa y Coimbra, en Portugal. El periodo analizado es 1880-1997.

La mayoría de las estaciones no han cambiado su ubicación, pero sólo conocemos los metadata relativos a métodos de medidas e instrumentos para algunas de ellas. Los problemas de homogeneidad son habituales en los registros de temperatura. Algunas series anuales y estacionales presentan problemas de homogeneidad que se han corregido usando el método propuesto por Bradley *et al.* (1985), teniendo en cuenta la diferencia entre los valores medios antes y después de la inhomogeneidad de la propia serie, y cuando ha sido posible, usando estaciones cercanas. En la corrección, se usaron periodos sin tendencias u otros efectos, siguiendo las recomendaciones de Rhoades y Salinger (1993). Los detalles de estas

correcciones puede encontrarse en Esteban-Parra (1995) y Esteban-Parra y Castro-Díez (1996).

Se han usado series con pocos valores perdidos (menos de 3 años consecutivos). Los datos perdidos han sido rellenados con el promedio mensual correspondiente del mes perdido calculado a partir del periodo entero.

Para estudiar la relación entre la temperatura y la NAO, se ha usado el índice NAO calculado a partir de los datos de presión en Gibraltar, como localidad representativa del centro sur del dipolo durante el invierno (Jones *et al.*, 1997) y Ponta Delgada (Azores) para las estaciones restantes. Pozo-Vázquez *et al.* (2000), discute las razones de esta elección de la localidad representativa del centro sur del dipolo, según la época del año.

Los datos de nubosidad provienen de una base de datos desarrollada por CRU recientemente (New *et al.*, 1999, 2000). Consiste en una base de datos en rejilla de alta resolución espacial ( $0.5^\circ$  lat. x  $0.5^\circ$  lon.) cubriendo el periodo 1901-1995. Estos datos provienen de una red densa de observaciones, particularmente sobre Europa y para el periodo comprendido entre principios de los 60 hasta 1995 (New *et al.*, 2000).

### **3. MÉTODO**

Para identificar el comportamiento general de las series, el Análisis del Componentes Principales, PCA, fue aplicado (Preisendorfer, 1988). Brevemente, dadas  $p$  series de anomalías de longitud  $n$ , el método consiste en la diagonalización de la matriz del covarianza/correlación. Las EOFs (funciones empíricas ortogonales) son los vectores propios de esta matriz, con una varianza asociada igual a su valor propio correspondiente.

La regla N (Preisendorfer, 1988) fue aplicada para seleccionar el número de EOFs significativos. Éste es un procedimiento MonteCarlo para obtener la distribución del eigenvalue de matriz de covarianza aleatoria. Una alternativa y posiblemente mejor interpretación de los resultados se obtiene rotando los EOFs significativos mediante el procedimiento de Varimax (Preisendorfer, 1988).

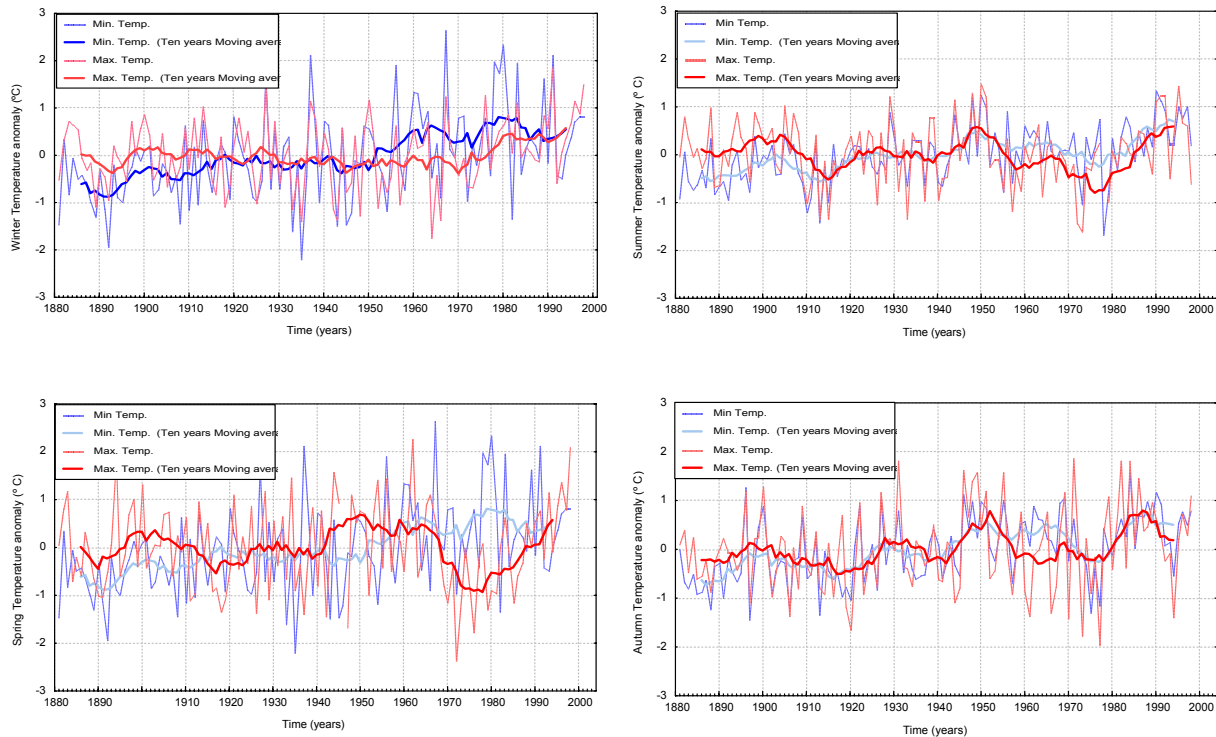
## **4. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURAS**

### **4.1 Patrones espaciales**

Salvo en invierno (siempre calculado promediando diciembre, enero y febrero) que tiene sólo un EOF significativo, se encontraron dos EOFs significativas para el resto de las serie estacionales y anuales. En cualquier caso debe notarse que el primer EOF sin rotar explica una gran parte de la varianza de las series (más de los 50%) con correlaciones altas para todas las localidades, y el segundo, menos del 10%, con correlaciones significativas para las estaciones en las costas de Cantábrica oriental y Mediterránea. Cuando se rotan estos dos EOFs, el segundo tiene el efecto de tirar el primero, de semejante manera que en algunos casos la rotación divide el primer EOF sin rotar en dos. Los dos EOFs rotados tienen correlaciones significativas para casi todas las localidades, aunque el primer EOF rodado representa la parte occidental y el segundo ligeramente mejor la parte oriental. Éste es por ejemplo el caso para las series anuales, y en menor medida, para los datos de verano. Es decir aparecen como elemento diferenciador regional, por un lado, la mayoría influencia de los tipos de tiempo atlánticos, por otro el clima mediterráneo. En cualquier caso, la regionalización mostrada por estos dos EOFs rotados es bastante limitada y el primer EOF sin rotar puede ser considerado representativo del área entera bajo estudio en cada estación del año.

## 4.2. Series temporales PCs

La Figura 1 muestra las series PC estacionales para las temperaturas mínimas y máximas con sus correspondientes series filtradas mediante medias móviles de 10 años, identificando la variabilidad de baja frecuencia.



**Figura 1:** Series PC estacionales de temperaturas máxima y mínimas (líneas discontinuas) y sus correspondientes medias móviles de 10 años (líneas continuas).

Para las temperaturas máximas, durante el invierno, aparece un periodo muy frío a finales del siglo XIX, seguido por un largo periodo (hasta finales de los años 50) con valores medios ligeramente por debajo del promedio de la serie. Los años 60 presentan valores por encima de lo normal y, desde finales de los 70 hasta el final de la serie, se encuentra un periodo cálido. Las series de primavera y verano muestran un periodo frío al final del siglo XIX, mientras la primera década del siglo XX fue cálida, seguida por unos años fríos hasta los 20. Los años 30 pueden ser considerado como normales con respecto al periodo total, mientras que los años 40, 50 y parte de los 60 fueron muy cálidos. La década de los 70 fue muy fría, seguida por los relativamente más cálidos años 80. La serie PC de otoño muestra fluctuaciones similares, con un periodo cálido de una intensidad notable durante la década de los 40. El periodo frío de los años 70 fue más corto y menos intenso, aumentando fuertemente las temperaturas máximas durante los años 80. Sólo para esta estación, la prueba de Mann-Kendall muestra una tendencia creciente significativa al nivel del 95%.

La serie anual de temperatura máxima resume este comportamiento, mostrando una tendencia creciente hasta los 1970 sobre un comportamiento oscilante de periodos fríos y cálidos. El final del siglo XIX se caracteriza por condiciones notablemente frías notables. Destaca también los fríos años 70, seguidos por el fuerte incremento posterior hasta el final de la serie.

Las temperaturas mínimas muestran fluctuaciones similares, con un tendencias mayores muy significativas en todas las estaciones, como muestran las pruebas de Mann-

Kendall. En todos los casos es destacable el mayor aumento de las temperaturas máximas desde 1970.

Una explicación parcial del aumento encontrado en temperaturas mínimas es el llamado efecto isla urbana de calor. En este trabajo, la mayor parte de las localidades corresponde a emplazamientos urbanos. La mayoría son ciudades pequeñas (41.5% de estas localidades tienen menos de 100.000 habitantes, y 22% menos de 50.000). Es verdad que el calentamiento urbano también está presente en ciudades pequeñas como ha sido demostrado por Karl *et al.* (1988), pero esta conclusión pierde validez para las ciudades con una historia muy larga, como es el caso de las ciudades españolas y portuguesas. El crecimiento urbano no ha tenido un ritmo constante, y por tanto, no es posible considerar una tendencia lineal. Por lo menos en España, el crecimiento ha sido mayor durante este siglo, sobre todo desde 1960, cuando las ciudades empezaron a desarrollar rasgos modernos, como la presencia de asfalto e industria. Además, el número de ciudades con más de 100.000 habitantes aumentó en los años 1970, aunque el calentamiento empezó antes, alrededor de 1920. Tampoco, el enfriamiento de los años setenta parece estar enmascarado por el calentamiento urbano. Según Jones *et al.* (1986), por lo menos a escala hemisférica, el efecto del urbanismo es menos de 0.1 °C. El efecto de la isla urbana es quizás responsable del el aumento de temperatura en la Península Ibérica en una proporción similar.

#### 4.3 Relaciones con la NAO

Con respecto a las relaciones entre la temperatura y la condiciones de la circulación en el Atlántico Norte, la Tabla 1 muestra las correlaciones entre las series PC de temperaturas máximas y mínima y el índice NAO usando los datos de presión de Gibraltar para el cálculo del índice en invierno (Jones *et al.*, 1997) y Ponta Delgada (Azores) para las estaciones restantes (Pozo-Vázquez *et al.*, 2000).

	Invierno	Otoño	Verano	Primavera
T <sub>máx</sub>	0.38 *	0.02	-0.07	0.02
T <sub>mín</sub>	-0.18 *	-0.04	-0.02	-0.06

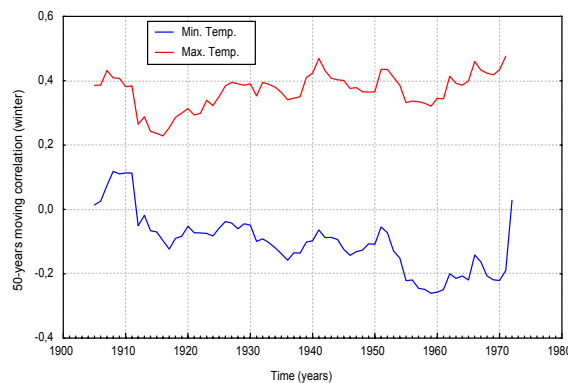
**Tabla 1: Correlaciones entre el índice estacional NAO y las primeras series PC de temperatura máxima y mínima. El símbolo \* indica correlaciones significativas al nivel del 95%.**

Sólo durante invierno, las correlaciones son significativas, aunque bajas, especialmente para las temperaturas mínimas. Esto es un poco sorprendente si se tiene en cuenta que la circulación atmosférica es un importante agente de variabilidad climática durante el invierno (Wallace *et al.*, 1995). De hecho, la precipitación sobre área en estudio está controlada principalmente por la NAO (Esteban-Parra *et al.*, 1998). Por otro lado, la correlación con la temperatura máxima es positiva, mientras es negativa con la temperatura mínima. Esta situación puede ser debida a efectos diferentes sobre las temperaturas máximas y mínimas durante el invierno: durante episodios de altas presiones e índice NAO positivo, las temperaturas máximas aumentan de máximo debido al mayor calentamiento solar, mientras que las mínimas disminuyen debido al enfriamiento radiativo propio de noches claras. Para situaciones asociadas a NAO negativo y condiciones de presión bajas, les de esperar un comportamiento de las temperaturas contrario al anterior. Este hecho provoca, por ejemplo, la baja correlación baja entre la NAO y la temperatura media de invierno para España encontrada por otros investigadores (Castro-Díez *et al.*, 2002).

Los signos opuestos de estos coeficientes de correlación reflejan el hecho que, para los meses de invierno con NAO positivo (negativo), la Península Ibérica experimenta una

circulación anómalamente anticiclónica (cyclónica) con una reducción (aumento) de la precipitación, asociadas a su vez con una reducción (aumento) de la cobertura nubosa. Así, cuando el índice de NAO es positivo, el exceso de radiación solar entrante aumenta las temperaturas máximas, mientras de noche, tiempo durante el cual suele ocurrir la temperatura mínima, está disminuye debido a la radiación de onda larga saliente. Para las otras estaciones del año, no se encuentran correlaciones significativas.

Se ha analizado también la estacionariedad de las relaciones entre NAO y las temperaturas. Para este propósito, se ha calculado correlaciones móviles de 50 años entre los índices NAO estacionales y las series PC correspondientes. Sólo durante invierno, las correlaciones son significativas, para el resto de las estaciones, las correlaciones siempre están muy cercanas a cero. La Figura 2 muestra estas correlaciones móviles para el invierno.



**Figura 2: Correlaciones móviles de 50 años entre las series PC de temperaturas y el índice NAO para el invierno.**

Puede apreciarse que en general, la relación entre las temperaturas máximas en la Península ibérica y el índice de NAO es bastante estable. La relación es menor alrededor del periodo 1890-1940. Las correlaciones más altas aparecen en los últimos 50 años, con valores cercanos a 0.5. Por otro lado, las correlaciones entre la temperatura mínima y la NAO han cambiado notablemente. Excepto en los primeros años, las correlaciones son negativas, pero sólo significativas desde 1960, con valores alrededor de -0.2.

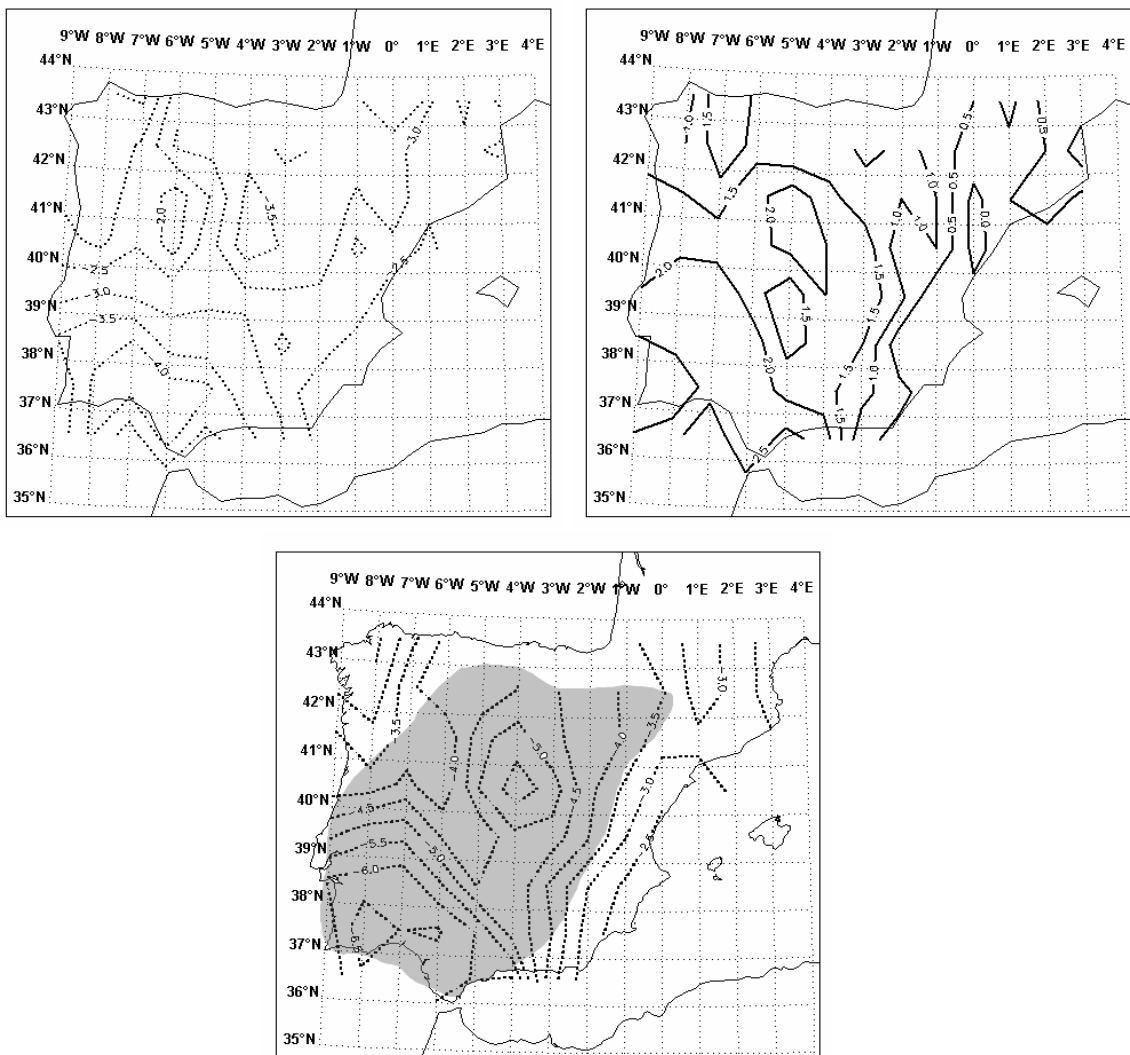
#### 4.4 Análisis de nubosidad

Para explorar con más detalle los cambios en las relaciones entre la NAO y las temperaturas ibéricas, se ha estudiado también la relación entre la cubierta nubosa y el índice NAO, usando datos de nubosidad en rejilla recientemente desarrollados por la CRU (New *et al.*, 1999, 2000). Esta base de datos presenta una alta resolución espacial ( $0.5^\circ$  lat. x  $0.5^\circ$  lon.), cubriendo el periodo 1901-1995. Este datos provienen de densa red de observaciones, particularmente sobre de Europa en el periodo comprendido entre 1960y 1995 (New *et al.*, 2000).

Se han realizado mapas de composición (*composites*) de la cubierta nubosa durante el invierno para situaciones de NAO extremo positivo (índice NAO  $>1$ ) y negativo (índice NAO  $<-1$ ). La prueba t-de Student fue aplicada para comparar los promedios de los composites de nubosidad en cada punto de la rejilla. Una señal se considera significativa cuando lo es al nivel del 99% en la prueba a dos colas, siendo la hipótesis nula la igualdad de promedios. para los composites de nubosidad asociados a NAO  $>1$  y A NAO  $< -1$ . La prueba tiene en cuenta las posibles distintas longitudes de las series.

Los resultados son particularmente significativos durante el invierno. La Figura 3 muestra los composites de la cubierta nubosa para (a) índice NAO de  $>1$ , (b) índice NAO de invierno  $<-1$ , y (c) la diferencia (a)-(b), para el periodo 1960-1995. Para  $NAO >1$ , las anomalías de nubosidad son negativas, como era de esperar y alcanzan valores de  $-0.4$  octas el suroeste de la Península Ibérica (Figura 3a). Para  $NAO <-1$ , las anomalías de nubosidad son positivas y más pequeñas, con los valores más altos en el suroeste (Figura 3b). La diferencia de estos dos composites (Figura 3c) es significativa al nivel del 95% en el suroeste y la parte interior de Península Ibérica. Los resultados similares fueron encontrados por Trigo *et al.*, (2002). Esta es el área de influencia de la NAO sobre la precipitación en la Península Ibérica (Esteban-Parra *et al.*, 1998) y confirma la discusión anterior. Los resultados son similares durante primavera y otoño, con anomalías más bajas y siendo sólo la diferencia significativa en el suroeste.

Para el periodo 1901-1959, no se encuentran diferencias significativas en la cubierta de nubes para  $NAO >1$  y  $NAO <-1$  en ninguna estación del año. Esto podría explicar los cambios en la estacionariedad de las relaciones entre la NAO y las temperaturas máximas y mínimas ibéricas, mostrados por las correlaciones móviles de 50 años. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los datos de nubosidad usados son menos fiables en este periodo.



**Figura 3:** Composites de la nubosidad de invierno para (a) índice NAO  $>1$ , (b) índice NAO  $<-1$ , (c) diferencia (a)-(b). Las unidades son décimas de octas.

## 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se han analizado los datos de temperaturas máximas y mínimas de la Península Ibérica durante el periodo 1880-1997. Toda la región estudiada presenta un comportamiento temporal coherente.

Se han calculado las correlaciones entre las primeras series PC de temperaturas máximas y mínimas y el índice NAO para todas las estaciones. Sólo durante el invierno, las correlaciones son significativas, positivas para temperatura máximas, y negativas para mínimas. Los signos opuestos de estos coeficientes de correlación reflejan el hecho que, para los meses de invierno con NAO positivo (negativo), la Península Ibérica experimenta una circulación anómalamente anticiclónica (cyclónica) con una reducción (aumento) de la precipitación, asociadas a su vez con una reducción (aumento) de la cobertura nubosa. Así, cuando el índice de NAO es positivo, el exceso de radiación solar entrante aumenta las temperaturas máximas, mientras de noche, tiempo durante el cual suele ocurrir la temperatura mínima, está disminuye debido a la radiación de onda larga saliente. Esto también es obtenido mediante el análisis de los datos de nubosidad para NAO >1 y NAO <-1. Sin embargo las correlaciones son más bajas de lo esperado, teniendo en cuenta el importante impacto de la NAO en la precipitación ibérica durante invierno. Para las otras estaciones, no se encuentran correlaciones significativas.

Por otro lado, la relación entre el índice NAO y las temperaturas no es estacionaria, particularmente la correlación entre temperatura mínima y el NAO ha cambiado notablemente y ha sido más importante en los últimos años del periodo.

La influencia de la NAO en la variabilidad de las temperaturas en Europa del sur es más compleja que en Europa central y del norte, siendo sumamente sensible a la situación del centro sur del dipolo, como es mostrado por Castro-Díez *et al.* (2002) y Pozo-Vázquez *et al.* (2001). Las temperaturas de Europa central y del norte no muestran tal sensibilidad debido a su situación, en la región donde el gradiente de presión a nivel del mar (SLP) es más fuerte. Puesto que un simple índice de la NAO representa esencialmente este gradiente de SLP, la correlación entre este índice y temperaturas de Europa central y del norte presenta un valor notablemente positivo. Por otro lado, para Europa del sur, no sólo el valor del gradiente de presión, sino también la situación de los centros de acción es importante. Pero esto no significa que la NAO tenga una influencia despreciable en temperaturas del sur de Europa, simplemente que esta relación es más compleja que para Europa central y del norte y que un índice simple no puede representar a la NAO adecuadamente en muchas situaciones. Además, la posición de los centros de acción de la NAO cambiar de año a año (Mächel *et al.*, 1998, Davis *et al.*, 1997). Esto contribuye a una comportamiento diferente de las temperaturas en Europa del sur con respecto a Europa central y del norte en las escalas de variabilidad climáticas asociadas a la NAO.

### AGRADECIMIENTOS

Los datos de temperatura de las estaciones españolas fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología. Los datos de presión al nivel del mar empleados para calcular el índice NAO y los datos de nubosidad fueron suministrados por la Climatic Research Unit (CRU) de la Universidad de East Anglia.

### REFERENCIAS

Bradley, R.S., Kelly, P.M., Jones, P.D., Goodess C.M. and Diaz, H.F., 1985. 'Climatic Data bank for Northern Hemisphere land areas, 1851-1980'. Department of Energy, Washington, D.C.



- Castro-Díez, Y., Pozo-Vázquez, D., Rodrigo, F.S. and Esteban-Parra, M.J., 2002. 'NAO and winter temperature variability in southern Europe'. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 8, 1-4.
- Davis, R.E., Hayden, B., Gay, D., Phillips, W. and Jones, G., 1997. 'The North Atlantic subtropical anticyclone'. *J. Climate*, 10, 728-744.
- Esteban-Parra, M.J., 1995. 'Contribución al Estudio de la Evolución del Clima de España en el Período Instrumental'. Ph.D. Thesis. University of Granada.
- Esteban-Parra, M.J. and Castro-Díez, Y., 1996. 'On the homogeneity of the longest temperature series in Spain: a critical analysis' in *Climate Dynamics and the Global Change Perspective*, Jagiellonian University Series, Krakov.
- Esteban-Parra, M. J., Rodrigo, F. S. and Castro-Díez, Y., 1998. 'Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992', *Inter. J. Climatol.*, 18, 1557-1574.
- Giorgi, F. and Mearns, L.O., 1991. 'Approaches to the simulation of regional climate change. A review', *Rev. Geophys.*, 29, 191-216.
- Hansen, J., Wilson, H., Sato, M., Ruedy, R., Shah, K. and Hansen, E., 1995. 'Satellite and surface temperature data at odds?'. *Clim. Change*, 30, 103-117.
- IPCC, 1995: *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. Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callender, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds). Cambridge University Press, Cambridge and New York, 572 pp.
- Jones, P.D., Raper, S.C.B., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Kelly, P.M. and Wigley, T.M.L. 1986. 'Northern hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984', *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 25, 1213-1230.
- Jones, P.D., Wigley, T.M.L. and Briffa, K.R., 1994. 'Global and Hemispheric temperature anomalies-land and marine instrumental records'. *Trends* 93, D.P. Boden, T.A. Kaiser, R.J. Sepanski and F.W. Stoss, Eds. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge.
- Jones, P.D., Jónsson, T. and Wheeler, D., 1997. 'Extension of the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland', *Inter. J. Climatol.*, 17, 1433-1450.
- Karl, T.R., Diaz, H.F. and Kukla G., 1988. 'Urbanisation: Its detection and effect in the United States'. *J. Climate*, 1, 1099-1123.
- Karl, T.R., Tarpley, J.D., Quayle, R.G., Diaz, H.F., Robinson, D.A. and Bradley, R.S. 1989. 'The recent climate record: what it can and cannot tell us', *Rev. Geophys.*, 27, 3, 405-430.
- Katz, R.W. and Brown, B.G. 1992. 'Extreme events in a changing climate: Variability is more important than average', *Clim. Change*, 21, 289-302.
- Mächel, H., Kapala, A. and Flohn, G., 1998. 'Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability'. *Int. J. Climatol.*, 18, 1-22.
- New, M.G., Hulme, M. and Jones, P.D., 1999. 'Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology'. *J. Clim.*, 12, 829-856.
- New, M.G., Hulme, M. and Jones, P.D., 2000. 'Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of a 1901-95 monthly grids of terrestrial surface climate'. *J. Clim.*, 13, 2217-2238.
- Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M.J., Rodrigo, F.S. and Castro-Díez, Y., 2000. 'An analysis of the variability of the North Atlantic Oscillation in the time and the frequency domains'. *Int. J. Climatol.*, 20, 1675-1692.
- Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M.J., Rodrigo, F.S. and Castro-Díez, Y., 2001. 'A study of NAO variability and its possible non-linear influences on European surface temperature'. *Clim. Dyn.*, 17, 701-715.

Preisendorfer, R.W., 1988. Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography. Elsevier, Amsterdam.

Trigo, R.M., Osborn, T.J. and Corte-Real, J.M., 2002. 'The North Atlantic Oscillation influence on Europe: Climate impacts and associated physical mechanisms', *Clim. Res.*, 20, 9-17.

Wallace, J.M., Zhang, Y. and Renwick, R., 1995. 'Dynamical contribution to hemispheric temperature trends'. *Science*, 270, 780-783.

Wallace, J.M., Zhang, Y. and Bajuk, L., 1996. 'Interpretation of interdecadal surface air temperature'. *J. Clim.*, 9, 249-259.