

# INFLUENCIA DE LA NAO EN LA VARIABILIDAD DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA REGIÓN DEL ATLÁNTICO NORTE

**D. Pozo-Vázquez<sup>(1)</sup>, J. Tovar-Pescador<sup>(2)</sup>, S. Gámiz-Fortis<sup>(3)</sup>, M. Esteban-Parra<sup>(4)</sup>, Y. Castro-Díez<sup>(5)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dpto. Física. Universidad de Jaén. E-23071 Jaén, Spain, [dpozo@ujaen.es](mailto:dpozo@ujaen.es)

<sup>(2)</sup> Dpto. Física. Universidad de Jaén. E-23071 Jaén, Spain, [jtovar@ujaen.es](mailto:jtovar@ujaen.es)

<sup>(3)</sup> Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, Spain, [sgamiz@ugr.es](mailto:sgamiz@ugr.es)

<sup>(4)</sup> Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, Spain, [esteban@ugr.es](mailto:esteban@ugr.es)

<sup>(5)</sup> Dpto. Física Aplicada. Universidad de Granada. E-18071 Granada, Spain, [ycaastro@ugr.es](mailto:ycaastro@ugr.es)

## **RESUMEN**

Hemos evaluado el impacto de la Oscilación del Atlántico Norte durante el invierno en el la variabilidad espacial y temporal de la radiación solar en la región del Atlántico Norte. Con este objeto hemos analizado datos de reanálisis del NCEP-NCAR CDAS-1, consistentes en radiación solar de onda corta en el periodo 1949-2002 y datos promedio mensuales de horas de sol procedentes del European Solar Radiation Atlas. La correlación entre el índice NAO y los datos de horas de sol muestran un patrón bipolar sobre la región del Atlántico Norte, con correlación máxima positiva sobre la Península Ibérica, de valor 0.75, y correlación máxima negativa sobre Noruega, con un valor -0.71. Los datos de reanálisis confirman estos resultados. Un análisis de componentes principales revela que el segundo modo de variabilidad de la radiación solar en Europa, que explica un 22.4% de la variabilidad, puede ser asociado con la NAO. Finalmente, un análisis de regresión indica, para el norte de Europa, anomalías negativas (-10% a -20%), asociadas a  $NAO > 1$ , y anomalías positivas (10% a 20%) asociadas a  $NAO < -1$ ; para el sur de Europa estas anomalías son, de entre el 10% y el 20% y de entre el -10% y el -20%, respectivamente.

**Palabras clave:** *NAO, Radiación, Energía Solar, nubes.*

## **SUMMARY**

We explore the relationship between the NAO and the solar radiation spatio-temporal variability in the European North Atlantic area during winter. Measured monthly sums of sunshine duration and short-wave downward solar flux reanalysis data have been used. Correlation analysis between the NAO index and the measured sunshine duration shows a dipolar pattern, with maximum positive values (+0.75) over the Iberian Peninsula, and maximum negative values (-0.71) over Norway. Reanalysis results confirm these findings. A PCA shows that the second mode of the monthly sunshine duration variability (which explains 22.4% of variance) can be associated with the NAO. Finally, a regression analysis, for northern Europe, negative anomalies (20% less than long term mean) associated with  $NAO > 1$  and positive anomalies (+20%) associated with  $NAO < -1$  are found, while for southern Europe these anomalies are, respectively, +20% and -20%.

**Keywords:** *NAO, Radiation, Solar Energy, clouds.*

## **1 INTRODUCCIÓN**

La radiación solar medida en la superficie de la tierra muestra variabilidad temporal de baja frecuencia debido a cambios en el input solar, variabilidad en los componentes atmosféricos como los aerosoles y, particularmente, debido a variaciones en la nubosidad. Aunque la relación entre las variaciones en la nubosidad y la radiación solar es compleja, es probablemente este factor de nubosidad el más importante en determinar las componentes de baja frecuencia de la variabilidad de la radiación solar medida en la superficie terrestre.

La oscilación del Atlántico Norte (NAO) es el modo principal de variabilidad de baja frecuencia de la presión en la región del Atlántico Norte. Este modo se caracteriza por la existencia de dos fases, la fase positiva, con presiones anormalmente altas en la región sur de Europa y anormalmente bajas en la región central y norte. La fase negativa se caracteriza por un patrón opuesto de anomalías de presión. Ambas fases están asociadas a cambios en la intensidad y localización del transporte de humedad y calor desde el océano Atlántico a las zonas continentales Europeas [Hurrell, 1995]. Varios estudios han establecido que la NAO controla el “storm track” a lo largo de la región de Atlántico Norte [Serreze *et al.*, 1997; Ulbrich and Christoph, 1999; Osborn *et al.*, 1999; Trigo *et al.*, 2002]. En particular, durante la fase negativa de la NAO, se demuestra un desplazamiento hacia el sur de las tormentas; ello conlleva, en particular, la existencia de una mayor nubosidad en el sur de Europa y menor en el centro y norte. Un patrón inverso se encuentra durante la fase positiva.

Presentamos aquí un resumen de un trabajo recientemente aceptado para su publicación [Pozo-Vázquez *et al.*, 2004] en el que analizamos la influencia de la NAO en la radiación solar en Europa. El objetivo de este estudio fue doble. Por un lado, pretendimos incrementar el conocimiento sobre la variabilidad espacial y temporal de baja frecuencia (interanual) de la radiación solar en la región del Atlántico Norte, por el otro, pretendimos explorar la influencia de la NAO en dicha variabilidad. El conocimiento de dicha variabilidad es importante para el estudio del balance de radiación en superficie, que a su vez, tiene una fuerte influencia en el ciclo hidrológico y en la agricultura. Por descontado, también es de interés en la evaluación de recursos solares para aplicaciones energéticas.

Se han utilizado tanto datos de reanálisis como datos medidos en estaciones de tierra, circunscribiéndose el estudio a los meses de invierno y la región Europea noratlántica. En primer lugar se llevó a cabo un análisis de correlación y en segundo lugar un análisis de componentes principales.

## 2 DATOS

En este estudio se han usado datos correspondientes al European Solar Radiation Atlas (ESRA), [Greif and Sharmer, 2000; Page *et al.*, 2001]. El ESRA fué llevado a cabo por encargo de la Comisión Europea, programa Joule II. Valores mensuales de duración de la insolación (MSD), en horas, para 691 estaciones a lo largo de Europa fueron recopilados, cubriendo el periodo 1981-90. El número de horas de sol es un proxy del valor de la radiación global [Iqbal, 1983]. A partir de estos datos, hemos implementado un grid con resolución 5° by 5° de valores mensuales. Cada valor mensual en el grid fue obtenido promediando los valores de las estaciones localizadas en dicho grid. Finalmente, se obtuvieron valores estacionales a partir de los valores mensuales. También hemos usado valores de reanálisis, en concreto valores mensuales de radiación incidente de onda corta correspondientes al valores de reanálisis del NOAA-NCEP-NCAR CDAS-1, cubriendo el periodo 1949-2002 [Kalnay *et al.*, 1996]. Dichos datos cubren la región 25 °N to 75 °N and 30° W to 45 °W, y tienen una resolución de 1.875° en longitud y 1.9° en latitud. Finalmente, un índice mensual de la NAO, calculado usando la presión de Azores e Islandia [Hurrell, 1995] fué utilizado.

## 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La Figura 1a muestra la correlación entre el índice NAO y el campo de duración de horas de sol (MSD). Se observa un patrón dipolar: para el suroeste de Europa las correlaciones son

positivas mientras que para el norte dichas correlaciones son negativas. Los valores máximos positivos se encuentran sobre la Península Ibérica y el noroeste de África, donde se alcanzan correlaciones de hasta 0.8, mientras que las correlaciones máximas negativas se encuentran en el norte de las islas Británicas, con valores entre -0.6 y -0.8.

Un análisis de correlación similar fue llevado a cabo entre el índice NAO y los datos de radiación procedentes de reanálisis. Los resultados se muestran en la Figura 1b. Los resultados son muy similares a los encontrados con los datos MSD. Las correlaciones positivas más altas se encuentran sobre la Península Ibérica, donde alcanzan valores de hasta 0.8; de nuevo las correlaciones máximas negativas se encuentran en la región norte de las islas Británicas.

Para completar el estudio anterior, se llevó a cabo un análisis tendente a obtener los coeficientes de regresión entre las NAO y los valores de las anomalías de MSD. Los resultados se muestran en la Figura 2. Se obtienen valores máximos positivos en el oeste de la Península Ibérica, donde se observan un incremento del 12% en los valores de MSD por cada desviación estándar de la NAO. Por el contrario, en el norte de las Islas Británicas se observan descensos del 16% por incremento de una desviación estándar de la NAO.

El análisis anterior muestra una clara influencia lineal de la NAO en los valores de radiación solar medida en superficie. Para explorar más allá esta cuestión hemos llevado a cabo un análisis de componentes principales (PCA) para los datos MSD. Se encontraron tres EOFs significativos, que dan cuenta de un total del 67% de la varianza. El modo principal explica un 33.1% de la varianza y su modo espacial correspondiente muestra un patrón coherente para todo el área de estudio. El segundo modo, que explica un 22.4% por ciento de la varianza, muestran patrón dipolar (Figura 3). Factores de carga positivos (con valores de hasta 0.8) encuentran sobre la zona sur de Europa, mientras que factores negativos de hasta -0.4 se localizan en las islas Británicas y la región escandinava. Este patrón, por tanto, es más representativo de la zona sur de Europa que de la Norte. En cualquier caso, los patrones dipolares encontrados en las Figuras 1, 2, y 3 recuerdan a la signatura espacial de la NAO en las temperaturas, presiones y precipitaciones en la región noratlántica Europea [Hurrell and Van Loon 1997; Osborn et al., 1999; Pozo-Vázquez et al., 2001]. La correlación entre el la serie PC del segundo modo y la NAO es de +0.69 (significativa al 99%). En definitiva, el segundo modo de la variabilidad espacio-temporal de la radiación solar en la región Euroatlántica puede asociarse con el fenómeno NAO.

En un reciente trabajo [Trigo et al., 2002] llevaron a cabo un análisis de la relación entre nubosidad y NAO en la región euroatlántica durante los meses de invierno. Los resultados mostraron, durante la fase positiva, la existencia de anomalías máximas positivas de nubosidad de hasta 0.25 oktas sobre las en las islas Británicas y la región escandinava, mientras las anomalías eran negativas y de hasta -0.25 oktas en el sur de Europa. Un patrón de anomalías aproximadamente opuesto se encuentra durante la fase negativa. Esta influencia de la NAO en la nubosidad es la que, indirectamente, explica la variabilidad de la radiación solar en superficie encontrada asociada a la NAO.

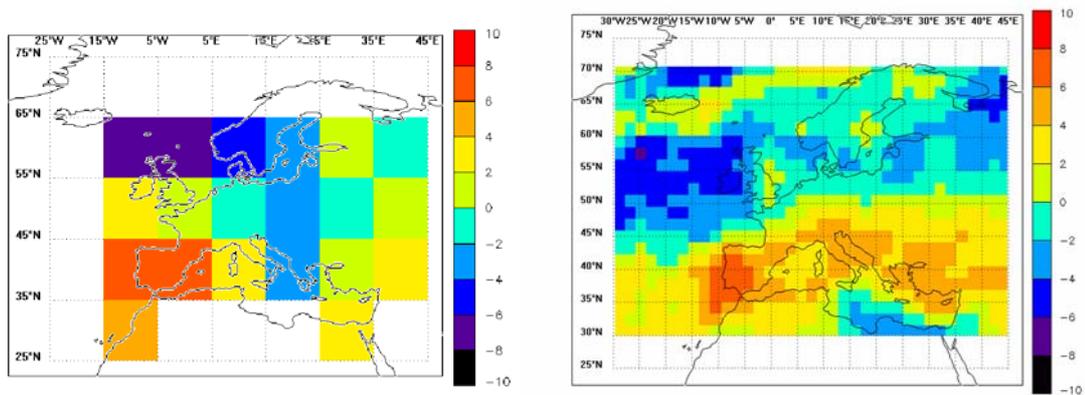


Figura 1. a) (izquierda). Correlación (multiplicada por diez) entre el índice NAO y el campo duración mensual de horas de sol para el invierno, periodo 1981-1990. b) (derecha). Igual que 1a, pero para datos de radiación de onda corta incidente procedentes de reanálisis del NCEP y para el periodo 1949-2002.

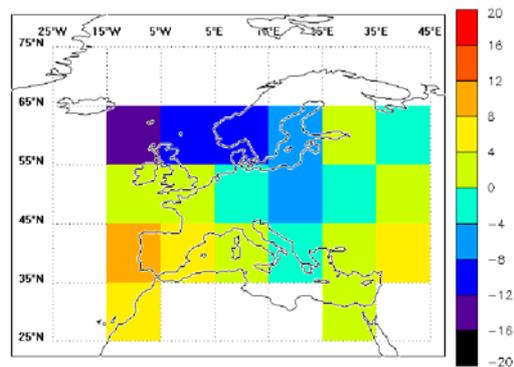


Figura 2. Coeficiente de regresión entre el índice NAO y el campo duración mensual de horas de sol para el invierno, periodo 1981-1990. Las unidades son tanto por ciento de variación de horas de sol (respecto a la media 1981-1990) por unidad de desviación estándar del índice NAO.

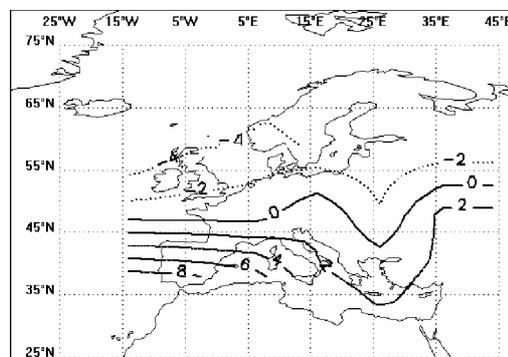


Figura 3. Factores de carga (multiplicados por diez) correspondientes al segundo modo resultantes de un análisis PCA de los datos duración mensual de horas de sol.

## 4 CONCLUSIONES

Una influencia significativa de la NAO en la variación espacial y temporal de la radiación solar en Europa durante el invierno, que puede ser evaluada en un 22%, ha sido encontrada en este estudio. El patrón de variabilidad de la radiación solar asociado a la NAO es dipolar, con variaciones de radiación positivas a asociadas a NAO positivo en la región sur de Europa y variaciones negativas en la región norte. La máxima influencia de la NAO en la radiación solar se observa en la Península Ibérica y en las Islas Británicas, con cambios en la dicha radiación de entre un 12 y un 16% asociadas a cambios de una desviación estándar de la NAO.

La forma en la NAO influencia la radiación solar se fundamenta en el control que ejerce sobre el “storm track” y con ello en la nubosidad de la región del Atlántico Norte.

**AGRADECIMIENTOS:** Este trabajo ha sido financiado por la CICYT, proyectos REN2001-3890-C02-02/CLI and REN2001-3923-C02-01/CLI.

## REFERENCIAS

- Greif, K., and K. Scharmer, *ESRA: European Solar Radiation Atlas, Fourth edition*. Published for the Commission of the European Communities by Presses de l'Ecole, Ecole des Mines de Paris, France, 2000.
- Hurrell, J.M., Decadal trends in North Atlantic Oscillation and relationship to regional temperature and precipitation, *Science*, 269, 676-679, 1995.
- Hurrell, J.M., and H. van Loon, Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change*, 36, 301-326, 1997.
- Iqbal, M., An Introduction to solar Radiation, pp 231-237, Academic Press, Canada, 1983.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, Roy Jenne, and J. Dennis, The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471, 1996.
- Osborn, T.J., K. Briffa, S.F.B. Tett, P.D. Jones, and R.M. Trigo, Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a climate model, *Clim. Dyn.*, 15, 685-702, 1999.
- Page J., Albuissou M., Wald L., The European Solar Radiation Atlas: a valuable digital tool. *Solar Energy*, 71, 81-83, 2001.
- Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M. J., Rodrigo, F. S., and Y. Castro-Díez, A study on NAO variability and its possible non-linear influences on European surface temperatures. *Clim. Dyn.*, 17, 701-715, 2001.
- Pozo-Vázquez, D., Tovar-Pescador, J., D., Gámiz-Fortis, S., Esteban-Parra, M. J., and Y. Castro-Díez, NAO and solar radiation variability in the European North Atlantic region. *Geophys. Res. Letters.*, in press, 2004.
- Serreze, M.C., Carse, F., Barry, R.G., Rogers, J.C., Icelandic low cyclone activity: climatological features, linkages with the NAO, and relationship with the recent changes in the Northern Hemisphere Circulation, *J. Climate*, 10, 453-464, 1997.
- Trigo, R.M., Osborn, T.J. and Corte-Real, J.M., The North Atlantic Oscillation influence on Europe: Climate impacts and associated physical mechanisms, *Clim. Res.*, 20, 9-17, 2002.
- Ulbrich, U., and Christoph, M., A shift in the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas, *Clim. Dyn.*, 15, 551-559, 1999.
- Wilby, R.L., O'Hare, G. and N. Barsnley, The North Atlantic Oscillation and the British Isles Climate Variability 1865-1995, *Weather*, 52, 266-276, 1997.