

MODULACIÓN MULTIDECADAL DE LA RELACIÓN ENTRE EL NIÑO Y LA PRECIPITACIÓN EN PRIMAVERA SOBRE EL ÁREA EURO-MEDITERRÁNEA

Jorge LÓPEZ PARAGES^{1,2}, Belén RODRÍGUEZ DE FONSECA^{1,2},
¹*Depto. de Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid*
²*Instituto de Geociencias (IGEO). UCM/CSIC*
parages,@fis.ucm.es, brfonsec@fis.ucm.es

RESUMEN

La relación entre el fenómeno de El Niño y la precipitación sobre el área Euro-Mediterránea (EMedP) en los meses de primavera ha sido estudiada, para el período 1901-2007, a partir del análisis de las dos primeras componentes principales de la precipitación en primavera. Los resultados señalan como estos dos primeros modos de variabilidad de EMedP están influidos por El Niño aunque no de forma estacionaria, identificándose períodos con y sin relación estadísticamente significativa. El estudio sugiere una modulación de la Oscilación Multidecadal del Atlántico en la relación Modo1-El Niño. En el caso de la relación del modo 2 con el Niño los resultados muestran una clara tendencia a lo largo de la segunda mitad del período de estudio, lo que podría señalar una posible influencia del cambio climático de origen antropogénico. Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones en predictabilidad estacional y decadal, y representan un paso adelante en el conocimiento del papel que los cambios del estado medio de la superficie oceánica juegan sobre los mecanismos de teleconexión atmosféricos en escalas interanuales.

Palabras clave: Teleconexión, Precipitación, El Niño, Modulación multidecadal.

El Niño influence on the winter Euro-Mediterranean Rainfall (EMedR) has changed along the 20th century, and the reasons for this lack of stationarity, which represents an important issue in the climate change context, are still unclear. Here, the causes of this changing relationship are studied at interannual timescales. To this aim the EMedR is analyzed using observations from 1901 to 2007. Results confirm the lack of stationarity of the first and second EMedR mode. The results show how the teleconnection of the leading mode with El Niño appear modulated by multidecadal oscillations of the anomalous Sea Surface Temperature (SST) over the Atlantic basins. Anthropogenic global warming could influence the teleconnection for the second mode. The results of this study have important implications in seasonal and decadal predictability, but they also represent a step forward in the understanding of the role of changes in the ocean mean state on the interannual teleconnections.

Key words: Teleconnetions, Precipitation, El Niño, Multidecadal modulation.

1. INTRODUCCIÓN

El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO) es el modo dominante de variabilidad global del clima en escalas interanuales. Si bien su influencia sobre el Pacífico y los trópicos ha sido ampliamente estudiada

(Harrison y Larkin, 1998; Alexander *et al.*, 2002; Díaz y Markgraf, 2000; Wang, 2004; Wang *et al.*, 2004; McPhaden *et al.*, 2006), sobre el sector Euro-Atlántico la mayoría de los trabajos se centran en la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). No obstante, resulta interesante señalar como, en escalas interanuales, la señal en superficie de ENSO y NAO sobre el Atlántico Norte presenta una estructural muy similar (Brönnimann, 2007, García-Serrano *et al.*, 2011). En este sentido, aunque la mayoría de la señal asociada a la NAO tiene un origen interno de la atmósfera, el forzamiento externo asociado a cambios en la temperatura superficial del mar (SST) sobre el Pacífico tropical puede influir en los centros de acción de la NAO. Este impacto de El Niño sobre el Atlántico Norte puede deberse a propagación de ondas de Rossby a través de la estratosfera o a cambios en las circulaciones de Walker y Hadley (Wang y An, 2002; Brönnimann, 2007). No obstante, el impacto de El Niño sobre el Atlántico es, en la actualidad, peor entendido que sobre el Pacífico debido principalmente a la alta variabilidad de la circulación extratropical sobre la cuenca Atlántica (Trenberth *et al.*, 1998; Quadrelli y Wallace, 2002).

Trabajos anteriores han mostrado comportamientos no estacionarios en el impacto de El Niño sobre Europa y Norte de África a lo largo del siglo XX. Entre éstos podemos señalar cambios antes y después de la década de los 70's (Gretbatch *et al.*, 2004) y variaciones multidecadales en la relación entre ENSO y la precipitación (Mariotti *et al.* 2002; Zanchettin *et al.* 2008). Sin embargo, ninguno de estos trabajos se ha centrado en la propia variabilidad interanual, distinguiendo la modulación multidecadal de la variabilidad interanual, de la propia variabilidad multidecadal de la señal.

El presente estudio se centra en la influencia que los modos naturales multidecadales de la SST tienen en la modulación de la teleconexión entre El Niño y la EMedP a finales de invierno y primavera.

El trabajo se divide en una primera parte en el que se describen los datos observacionales empleados y la metodología aplicada, una segunda de presentación de resultados, y una tercera final de conclusiones y breve discusión final.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Este trabajo se ha desarrollado utilizando datos remallados a lo largo del siglo XX y principios del XXI, todos ellos procedentes de fuentes observacionales y evitando, en la medida de lo posible, el uso de reanálisis que incorporaran datos satelitales y añadieran, por tanto, un comportamiento no estacionario espurio que pudiera influir en los resultados.

Las variables utilizadas han sido precipitación, presión en superficie (SLP) y temperatura superficial del mar (SST). La base de datos de precipitación empleada es GPCC (Schneider *et al.*, 2008), cuyo período temporal abarca desde 1901 a 2007, y que proporciona datos terrestres para todo el globo sobre una malla regular de resolución $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. La SLP procede de NCAR (Trenberth y Paolino, 1980), desde 1899 a 2008 ($5^\circ \times 5^\circ$ de resolución), mientras que para la SST se han utilizados dos bases de datos distintas: ERSTTv3b (Smith *et al.* 2008), de 1854 a la actualidad ($2^\circ \times 2^\circ$ de resolución) y HadISST1 (Rayner *et al.*, 2003), de 1870 a la actualidad ($1^\circ \times 1^\circ$ de resolución).

El índice Niño3.4 empleado a lo largo del estudio se ha calculado a partir de las dos bases de datos de SST anteriormente descritas, evaluando la SST anómala sobre la región del Pacífico ecuatorial [$5^\circ\text{S} - 5^\circ\text{N}$, $170^\circ\text{W} - 120^\circ\text{W}$]. El índice AMO se ha obtenido como la media móvil de 10 años de las anomalías sin tendencia sobre el Atlántico Norte (Enfield *et al.*, 2001).

El trabajo se ha centrado en el análisis de la precipitación interanual en primavera (iEMedP [$24^\circ\text{N} - 68^\circ\text{N}$, $15^\circ\text{W} - 35^\circ\text{E}$]), para los meses comprendidos entre Febrero y Mayo. La señal de alta frecuencia se ha amplificando mediante el análisis de los incrementos interanuales de los distintos campos

[Stephenson et al, 2000]. Posteriormente se ha estudiado la variabilidad de la iEMedP desde un punto de vista lineal mediante el uso de un análisis de componentes principales (PCA/EOF ; (Von Storch y Zwiers, 2001)), como fue sugerido por Zanchettin *et al.* (2008). En dicho trabajo se aconseja la conveniencia de disminuir los grados de libertad en este tipo de análisis, proponiendo para ello aplicar algún método de filtrado previo o restringirse al estudio de unos pocos modos de variabilidad. Una vez obtenidos los modos de variabilidad se han obtenido los mapas de regresión proyectando los campos de iEMedP, iSST e iSLP sobre las dos primeras componentes principales (PC1 y PC2), resaltando aquellas regiones con correlación significativa entre las series temporales de los distintos campos y las PCs.

Para evaluar la estacionariedad del impacto de El Niño, correlaciones en ventanas móviles de 21 años se han aplicado entre las PCs y el índice Niño3.4. Finalmente se han analizado mapas compuestos por separado para períodos con o sin teleconexión significativa.

A lo largo de todo el trabajo se ha considerado un umbral de significatividad del 95%, basado en un test de Monte Carlo no paramétrico con 400 iteraciones.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de componentes principales y estacionariedad

El primer modo de variabilidad de la iEMedP (fig. 1a) presenta valores significativos de distinto signo entre Europa Central - incluyendo las Islas Británicas- y el área mediterránea y noroeste de África. El segundo modo (fig. 2a), sin embargo, muestra valores negativos sobre Escandinavia y noreste de África, mientras que valores positivos aparecen en el centro y sur de Europa.

Al proyectar iSST sobre la PC1 (fig. 1c) aparece un claro patrón tipo Niño sobre el Pacífico ecuatorial, con la máxima señal en la región Niño3.4. Sobre el Pacífico norte es posible identificar, asimismo, un patrón en herradura.

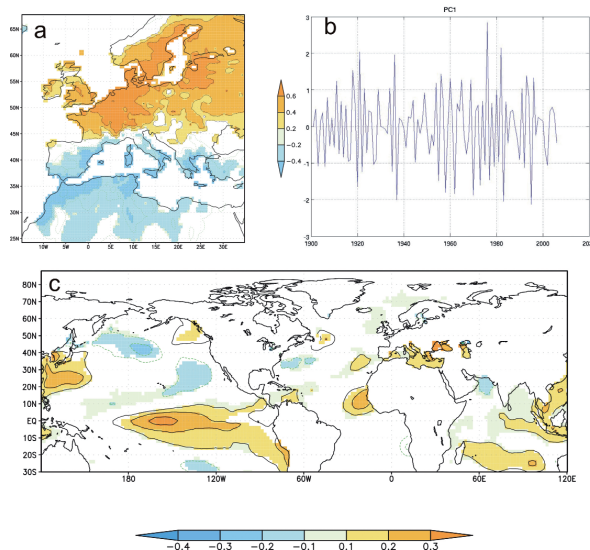


FIG. 1: *Primer modo de variabilidad de iEMedP(18% de varianza explicada). Las áreas coloreadas representan regiones estadísticamente significativas. a) patrón de precipitación ; b) PC asociada al modo 1; c) proyección de iSST sobre la PC1.*

El segundo modo de variabilidad de iEMedP (fig. 2a) presenta valores negativos sobre Escandinavia y el noreste de África, y valores positivos en el centro y sur de Europa. Al proyectar la iSST sobre la PC2 (fig. 2c), el patrón en herradura desaparece, y la señal tipo Niño no es tan clara como lo era para el primer modo, si bien es posible identificar de nuevo regiones estadísticamente significativas sobre el Pacífico ecuatorial.

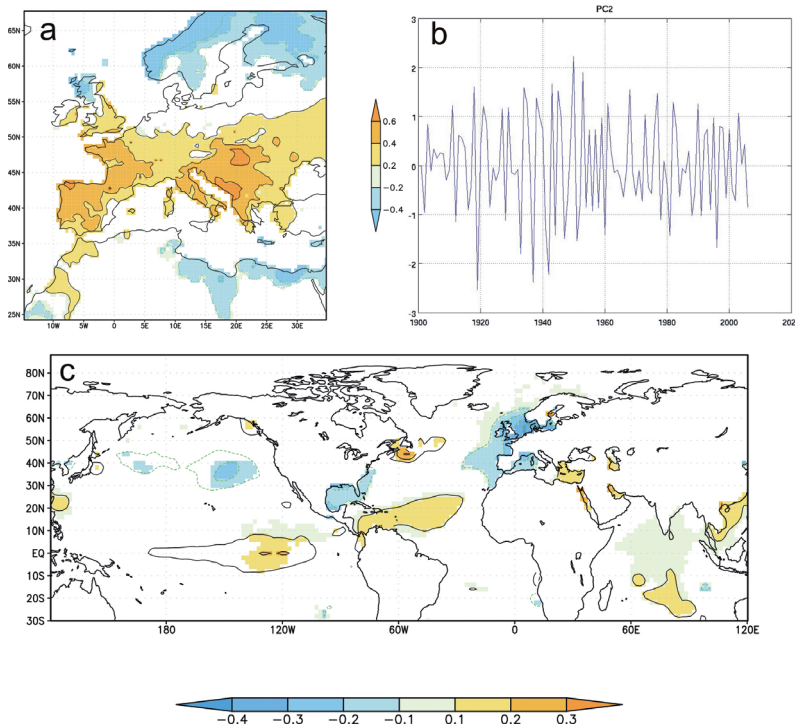


FIG. 2: Segundo modo de variabilidad de iEMedP (12% de varianza explicada). Las áreas coloreadas representan regiones estadísticamente significativas. a) patrón de precipitación; b) PC asociada al modo 2; c) proyección de iSST sobre la PC2.

Una característica común para ambos modos es el hecho de que la PC presenta cambios en amplitud a lo largo del período de estudio (figs. 1b y 2b), lo que parece indicar una ausencia de estacionariedad en su comportamiento. En este sentido, y considerando la señal significativa sobre la región Niño3.4 aparecida en ambos casos sobre la iSST, los cambios identificando sobre las PCs podrían señalar una posible relación no estacionaria con el fenómeno de El Niño. Para evaluar esta hipótesis se han aplicado correlaciones, en ventanas móviles de 21 años, entre ambas componentes principales y el índice Niño3.4 (fig. 3). La elección de este índice se basa en los patrones de la iSST anteriormente comentados. La evolución de dichas correlaciones muestra, para el caso del primer modo de precipitación (fig. 3a), una clara variabilidad multidecadal, identificando correlaciones significativas al principio del siglo XX y entre los 1960's y 1980's, pero no en los 1940's, los 1950's y después de los 1980's. Lo que resulta muy interesante es el hecho de que estas correlaciones evolucionen en fase con el índice AMO (línea gris sobre la figura 3a), apareciendo los períodos significativos únicamente bajo fases negativas de la AMO.

Para el caso del segundo modo (fig. 3b), las correlaciones se intensifican hasta alcanzar un mínimo significativo en torno a las década de 1940's, para posteriormente ir disminuyendo progresivamente.

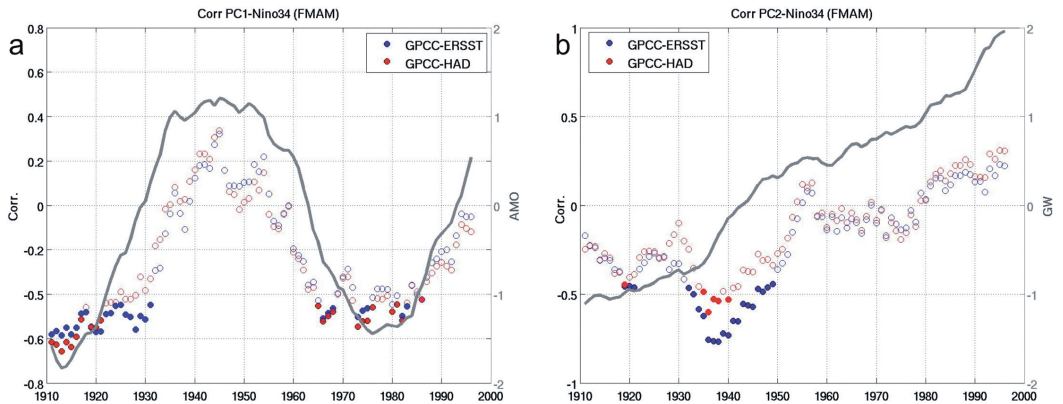


FIG. 3: *Correlación entre El Niño y iMedP en ventanas móviles de 21 años. Los puntos rellenos representan correlaciones estadísticamente significativas al 95% (test de Monte Carlo). Los colores azul y rojo representan correlaciones con el índice Niño3.4 obtenido a partir de ERSST y Had respectivamente: a) Correlación Niño3.4-PC1 ; Correlación Niño3.4-PC2.*

3.2. Mapas compuestos por períodos

El siguiente objetivo planteado es intentar formular una hipótesis que pueda explicar el mecanismo que subyace en las relaciones no estacionarias con El Niño, y que han sido identificadas para ambos modos de iEMedP. Para ello, se han obtenidos mapas compuestos de los distintos campos disponibles, separando entre períodos con y sin correlación significativa entre la PC correspondiente y el índice Niño3.4. Consideraremos aproximadamente estos períodos a partir de ahora como períodos de AMO negativa y positiva respectivamente.

Para el caso del primer modo de precipitación pueden observarse diferencias notables al comparar períodos bajo AMO positiva y negativa. En períodos de AMO negativa (fig. 4) el patrón de precipitación es muy similar, aunque con valores más intensos, al asociado al primer modo de variabilidad. Resulta fácilmente identificable sobre la iSST la señal tipo Niño, junto con el patrón en herradura al norte de la cuenca del Pacífico. Es posible distinguir otras regiones significativas, destacando la señal sobre el océano Índico o los centros sobre el Atlántico Norte que recuerdan la señal asociada al modo del gradiente meridional propuesto por Wang y An en 2002. Sobre la iSLP, aparecen cuatro centros significativos, dos positivos y dos negativos, sobre el Atlántico Norte, así como un centro significativo positivo sobre el Pacífico tropical. Este último es la señal de la Oscilación del Sur (SO) típicamente asociada a un forzamiento del fenómeno de El Niño. En períodos sin correlación significativa (fig. 5), fundamentalmente bajo AMO positiva, el patrón de precipitación varía, desapareciendo los valores significativos sobre el noreste de África, así como el dipolo entre el noroeste y sureste de la península Ibérica típicamente asociado a un forzamiento de ENSO. El patrón significativo de iSLP se encuentra confinado sobre el Atlántico Norte, siendo apenas distinguibles centros de presión significativos en otras regiones del hemisferio norte.

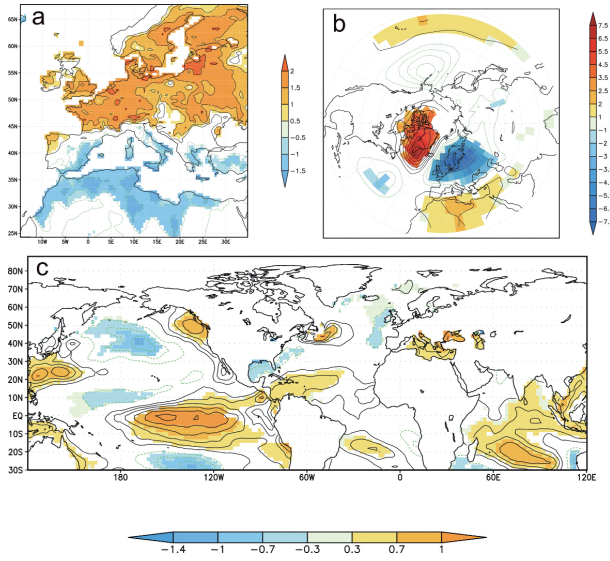


FIG. 4: *Compuestos basados en extremos de la PC1 (alto menos bajo), considerando únicamente períodos con correlación significativa Niño3.4-PC1 (1901/1930-1965/1990). Las áreas coloreadas representan regiones estadísticamente significativas. a) patrón de precipitación ; b) patrón de iSLP; c) patrón de iSST.*

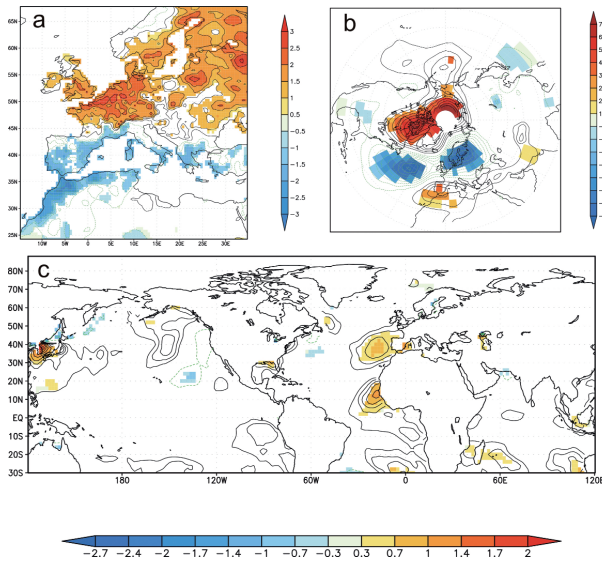


FIG. 5: *Compuestos basados en extremos de la PC1 (alto menos bajo), considerando únicamente períodos con correlación no significativa Niño3.4-PC1 (1931-1964). Las áreas coloreadas representan regiones estadísticamente significativas. a) patrón de precipitación ; b) patrón de iSLP; c) patrón de iSST.*

Al comparar los mapas de regresión por períodos con o sin correlación significativa del segundo modo con El Niño se observa, entre 1910 y 1950 (Fig. 6), una señal característica tipo Niño, sobre la iSST, asociada a un patrón de iEMedP muy similar al del segundo modo de variabilidad. Sobre la iSLP es posible identificar un patrón que recuerda a la Oscilación Ártica (AO) sobre el extratropical y un centro positivo sobre el Pacífico oeste tropical.

Entre 1960 y 2007 (Fig. 7), por el contrario, la señal tipo Niño desaparece y el patrón de precipitación aparece debilitado, principalmente sobre Europa central y el noreste de África, regiones donde no se alcanza el nivel de significatividad. El patrón de iSLP muestra los mismos centros que en el caso anterior pero desplazados hacia el este. El centro positivo en latitudes altas únicamente aparece sobre el Atlántico Norte, de modo que el patrón dipolar resulta más regional que en el caso anterior.

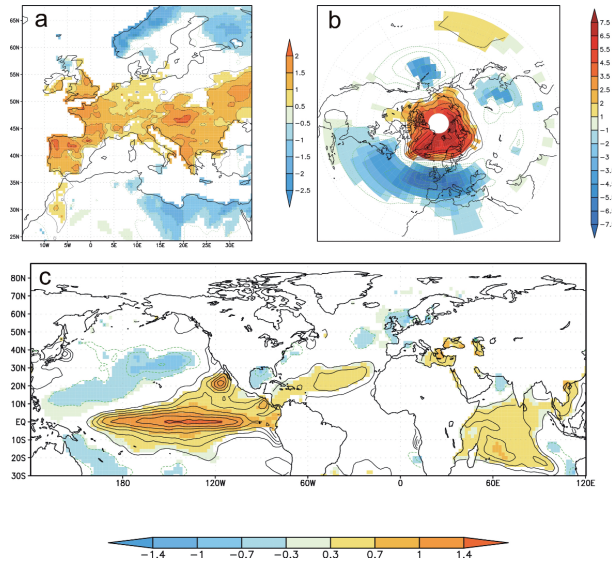


FIG. 6: Compuestos basados en extremos de la PC2 (alto menos bajo), considerando únicamente períodos con correlación significativa Niño3.4-PC2 (1910-1950). Las áreas coloreadas representan regiones estadísticamente significativas. a) patrón de precipitación ; b) patrón de iSLP; c) patrón de iSST.

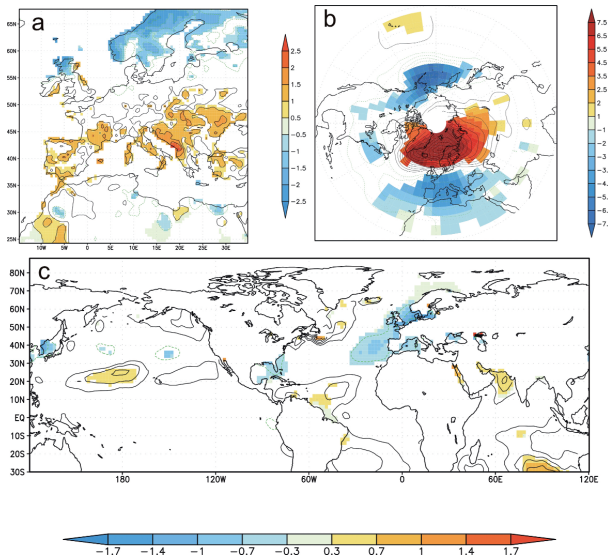


FIG. 7: Compuestos basados en extremos de la PC2 (alto menos bajo), considerando únicamente períodos con correlación no significativa Niño3.4-PC2 (1961-2007). Las áreas coloreadas representan regiones estadísticamente significativas. a) patrón de precipitación ; b) patrón de iSLP; c) patrón de iSST.

4. DISCUSIÓN FINAL

En este estudio se han identificado evidencias estadísticamente significativas de un comportamiento no estacionario en la relación entre el fenómeno de El Niño y los dos primeros modos de variabilidad de la iEMedP para los meses comprendidos entre Febrero y Mayo. El primer modo interanual presenta cambios en escalas multidecadales que parecen estar asociados a una modulación por parte de la AMO, es decir, por la variabilidad de baja frecuencia de la SST sobre el océano Atlántico, que podría estar imponiendo una climatología cambiante bajo cuya influencia las teleconexiones variarían. La proyección del campo de iSLP sobre la PC1 asociada a este modo depende de las décadas consideradas, de modo que, en aquellas décadas en las que no existe correlación con El Niño, el patrón de iSLP presenta una estructura zonalmente simétrica, sugiriendo una configuración asociada a cambios de origen interno en el flujo zonal medio. Por el contrario, en aquellos años en los que la PC1 se correlaciona con El Niño, el patrón de iSLP sugiere un forzamiento desde el Pacífico tropical. Estos resultados son coherentes con los obtenidos por Ting *et al.* (1996), los cuales señalan como las anomalías extratropicales sobre el hemisferio norte pueden entenderse como una combinación lineal de teleconexiones asociadas a cambios en el flujo zonal medio y los períodos ENSO.

El segundo modo interanual de precipitación también parece relacionarse con El Niño de un modo no estacionario. No obstante, el número de años con relación significativa, entre 1920 y 1950 aproximadamente, es sensiblemente menor al identificado para el primer modo. Durante el período con correlaciones significativas con El Niño, el patrón extratropical de iSLP recuerda a un patrón tipo AO, mientras que sobre el trópico aparece un centro significativo al oeste de la cuenca del Pacífico. Durante la segunda mitad del siglo XX, cuando no se identifica relación del segundo modo con El Niño, el patrón de iSLP muestra los mismos centros que en el caso anterior, pero desplazados hacia el este. Asimismo, el centro significativamente positivo sobre latitudes altas se restringe al atlántico norte, apareciendo de este modo un patrón similar al asociado a la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Esta diferencia de patrones de iSLP, asociada a la presencia o no de un forzamiento asociado a El Niño, podría resultar de interés en la controversia actual acerca de la relación entre los patrones AO/NAO. Este trabajo podría también ser coherente con el hecho de que cambios en la localización de las fuentes anómalas de calor sobre el trópico podrían producir diferencias en las teleconexiones con el extratropico (Ting and Sardeshmukh, 1993).

Este estudio, basado en datos observacionales de atmósfera y océano, señala la necesidad de considerar cambios en el estado medio como posibles moduladores de las teleconexiones interanuales entre ENSO y el extratropico, lo cual tiene importantes aplicaciones en predicción estacional y decadal. Posibles cambios en los trenes de ondas de Rossby, o en las circulaciones de Walker y Hadley, podrían explicar los resultados obtenidos. No obstante, dada la escasa información observacional disponible, resulta difícil profundizar en la dinámica subyacente que explique los comportamientos no estacionarios identificados.

Aunque es posible generar fluctuaciones decadales por azar (Oldenborgh y Burgers, 2005), este estudio presenta una modulación físicamente coherente para explicar la relación no estacionaria El Niño-iEMedP. No obstante, resulta necesario profundizar en el futuro, con la ayuda de Modelos Globales de Circulación (GCMs), en los posibles mecanismos físicos que expliquen los resultados encontrados a partir de datos observacionales.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Alexander, M. A., et al. (2002), The atmospheric bridge: Influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans, *J. Climate*, 15, 2205-2231.
- Bronnimann, S. (2007), The impact of El Niño/Southern Oscillation on European climate. *Rev Geophys.*, 45:RG3003. Doi:10.1029/2006 . RG000199 .
- Diaz, H., and V.Markgraf (Eds.) (2000), *El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts* , Cambridge Univ. Press, New York.
- Enfield D.B,A.M. Mestas-Nuñez, P.J. Trimble (2001), The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S., *Geophys, Res. Lett.* , 28: 2077–2080.
- García-Serrano, J., B. Rodríguez-Fonseca, I. Bladé, P. Zurita-Gotor, A. de la Cámara (2011), Rotational atmospheric circulation during North Atlantic-European winter: the influence of ENSO, *Clim. Dyn.*, doi: 10,1007/s00382-010-0968-y.
- Greatbatch R. J., J. Lu and K. A. Peterson (2004), Nonstationary impact of ENSO on Euro-Atlantic winter climate. *Geophys, Res. Lett.*, 31, L02208, doi: 10,1029/2003GL018542.
- Harrison, D. E., and N. K. Larkin (1998), El Niño-Southern Oscillation sea surface temperature and wind anomalies, *Rev Geophys.*, 36, 353-399.
- Mariotti, A., N. Zeng, and K.-M. Lau (2002), Euro-Mediterranean rainfall and ENSO – a seasonally varying relationship, *Geophys. Res. Lett.*, 29(12), 1621, doi: 10,1029/2001GL014248.
- McPhaden, M. J., S. E. Zebiak, and M. H. Glantz (2006), ENSO as an integrating concept in Earth science, *Science*, 314, 1740-1745.
- Oldenborgh, G.J. van and G. Burgers (2005), Searching for decadal variations in ENSO precipitation teleconnections, *Geophys. Res. Lett.*, 2005, 32, 15, L15701, doi:10,1029/2005GL023110.
- Quadrelli, R., and J. M. Wallace (2002), Dependence of the structure of the Northern Hemisphere annular mode on the polarity of ENSO, *Geophys. Res. Lett.*, 29(23), 2132, doi:10.1029/2002GL015807.
- Rayner, N.A., D.E.Parker, E.B.Horton, C.K.Folland, L.V.Alexander, D.P.Rowell, and A. Kaplan, (2003) Globally complete analyses of SST, sea ice, and night marine air temperature, 1871—2000, *J. Geophys. Res.*, 108, 10.1029/2002JD002670.
- Smith, T.M., R.W. Reynolds, T.C. Peterson, and J. Lawrimore (2008), Improvements to NOAA’s historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880- 2006), *J. Climate*, 21, pp. 2283—2296.
- Stephenson, D. B., V. Pavan, and R. Bojariu (2000), Is the North Atlantic Oscillation a random walk? *Int. J. Climatol.*, 20, 1–18.
- Ting, M., M. P. Hoerling, T. Xu, and A. Kumar (1996), Northern Hemisphere teleconnection patterns during extreme phases of the zonal-mean circulation. *J. Climate*, 9, 2614–2633.
- Ting, M.-F., , and P. D. Sardeshmukh, (1993), Factors determining the extratropical response to equatorial heating anomalies. *J. Atmos. Sci.*,50, 907–918.
- Trenberth, K. E., and D. A. Paolino (1980), The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors, and discontinuities. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 855–872.
- Trenberth, K. E., et al. (1998), Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, 103,14,291 – 14, 324.
- Von Storch, H. and F. Zwiers, (2001), *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge Univ. Press, UK.
- Wang, B. (1995), Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades, *J. Climate.*, 8, 267 – 285.
- Wang, C. (2004), ENSO climate variability and the Walker and Hadley circulations, in *The Hadley Circulation: Present, Past and Future*, *Adv. Global Change Res.*, 21, edited by H. F.
- Wang, C., and J. Picaut (2004), Understanding ENSO physics—A review, in *Earth’s Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, *Geophys. Monogr. Ser.*, 147, edited by C.Wang et al., 21-48, AGU, Washington, D. C.
- Wang, B. and S. I. An (2002), A mechanism for decadal changes of ENSO behavior: roles of background wind changes. *Clim. Dyn.*, 18, 475-486.

Zanchettin, D., Franks, S. W., Traverso, P., and Tomasino, M. (2008), On ENSO impacts on European wintertime rainfalls and their modulation by the NAO and the Pacific multi-decadal variability described through the PDO index, *Int. J. Climatol.*, 28, 995–1006.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por proyectos nacionales del Ministerio de Educación y Ciencia TRACS (CGL2009-10285) y del Ministerio de Medioambiente Rural y Medio Marino MOVAC (200800050084028) así como por los proyectos de grupos UCM-BSCH GR58/08: “Micrometeorology and Climate variability” .