

Belén Rodríguez-Fonseca^{1,2}, María Jesús Casado³, David Barriopedro^{1,2}

¹ Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Físicas,
Universidad Complutense de Madrid (UCM), España

² Instituto de Geociencias (IGEO), UCM, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

³ Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Madrid, España

Introducción

Las variaciones en la circulación atmosférica pueden resultar de cambios en los forzamientos externos pero también de forma natural a partir de interacciones internas entre componentes del sistema climático. Una inspección más detallada de la variabilidad atmosférica en escalas estacionales o mayores muestra que esta ocurre predominantemente organizada en estructuras espaciales preferentes conocidas como «Patrones de Teleconexión» (PT). Los PT pueden variar en intensidad y posición en escalas estacionales, interanuales y decadales (Wallace and Gutzler, 1981; Trenberth *et al.*, 1998; Quadrelli and Wallace, 2004). Los PT surgen de procesos ondulatorios, reflejando anomalías en el flujo medio, y conexiones con otros componentes del sistema climático, especialmente el océano (Liu and Alexander, 2007). Los PT están relacionados con tipos de circulación a escala diaria (Casado *et al.*, 2008) y tienen un impacto en otras variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación. Por lo general, reflejan anomalías de centros de acción o sistemas de circulación climatológicos regionales.

Así, los PT que afectan al suroeste (SO) de Europa y, en particular, a la península ibérica, se relacionan con cambios interanuales en el sistema de presión anticiclónico de Azores. Desde un punto de vista climatológico, este anticiclón subtropical exhibe desplazamientos meridionales a lo largo del ciclo estacional, induciendo cambios en las condiciones medias climáticas de la región.

El PT más importante afectando al SO de Europa es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO; Trigo *et al.*, 2002), que se asocia con cambios en el gradiente meridional entre los sistemas de baja presión subpolar y el anticiclón de Azores. La NAO explica una gran parte de la variabilidad de la precipitación en Europa, principalmente en invierno, de modo que las fases positivas de esta oscilación están asociadas con un aumento de la precipitación sobre el norte de Europa y una disminución hacia el SO del continente. La NAO afecta a los patrones de temperatura en superficie, vientos y otras variables con impactos en la sociedad. Aparte de la NAO, otros PT que afectan al clima de Europa son el patrón del Este Atlántico y el Oeste de Rusia, (EA/WR), el del Este Atlántico (EA) y el de Escandinavia (SCAND) (García-Herrera and Barriopedro, 2018).

La circulación atmosférica responde a otros componentes del sistema climático a través de la excitación de ondas de Rossby e interacción entre el flujo medio y las perturbaciones de origen sinóptico, que pueden resultar en patrones regionales de teleconexión (Liu and Alexander, 2007). Dada la gran capacidad calorífica del agua comparada con la de la atmósfera, la subsuperficie oceánica puede almacenar energía por varios meses y liberarla más tarde como flujo de calor sensible y latente que, a su vez, puede alterar la circulación global de la atmósfera, generando de este modo, patrones o vías de teleconexión. La temperatura de la superficie del mar es una variable que se asocia a la cantidad de energía que puede liberarse. Esta es la base de la predicción estacional a decadal (s2d). En particular, El Niño es el modo de variabilidad natural en escala global que determina la mayor parte de la variabilidad global año a año, incluyendo su impacto en el suroeste de Europa (Brönnimann *et al.*, 2007). Su homólogo atlántico, con dinámica similar, es el llamado Niño Atlántico, siendo la mayor fuente de variabilidad tropical en el Atlántico en escalas interanuales (Polo *et al.*, 2008). Los Niños del Atlántico y del Pacífico no pueden considerarse como modos independientes de variabilidad (Rodríguez-Fonseca *et al.*, 2009; Martín-Rey *et al.*, 2014; Martín-Rey *et al.*, 2015; Polo *et al.*, 2015). Además, la variabilidad del Atlántico Norte Tropical (TNA) no puede ser aislada de la variabilidad de ENSO (García-Serrano *et al.*, 2017) y tiene una influencia significativa en la circulación atmosférica del sector euro-atlántico y, en particular, en la península ibérica tanto a principios de invierno como en primavera (Rodríguez-Fonseca *et al.*, 2006).

Generalmente, los modelos climáticos son capaces de simular los modos de variabilidad, siendo herramientas muy útiles para entender sus cambios futuros (Müller and Roeckner, 2008; Handorf and Dethloff, 2009). El informe más reciente del IPCC incluye un capítulo dedicado al análisis de los fenómenos climáticos, en particular los principales modos de variabilidad y de su relación con el clima regional actual y futuro (IPCC, AR5, Christensen *et al.*, 2013).

En el anterior informe de CLIVAR-ES, Rodríguez-Fonseca and Rodríguez-Puebla (2010) revisaron los estudios sobre los PT que afectan a la península ibérica, incluyendo su

posible predictibilidad, con especial énfasis en la NAO y sus interacciones con el océano. Desde entonces, se ha hecho un gran progreso en el desarrollo de herramientas de predicción subestacional a estacional y de estacional a decadal (s2s y s2d, Vitart *et al.*, 2012). Los resultados del *Climate system Historical Forecasting Project* (CHFP; Tompkins *et al.*, 2017) y del *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5), junto con la activa investigación en comunidades operacionales y de investigación, han mejorado y permitirán incrementar nuestra capacidad de hacer predicciones y proyecciones cada vez más fiables en la región. El siguiente resumen intenta recolectar el mayor número posible de trabajos realizados desde 2010 en relación con los PT, incluyendo aspectos de variabilidad interna y forzada, predictibilidad a diferentes escalas y proyecciones futuras.

Patrones que afectan a la variabilidad atmosférica del suroeste de Europa y precursores potenciales

Estudios recientes han relacionado la NAO con la precipitación de invierno, los vientos y la temperatura, incluyendo extremos sobre el oeste del Mediterráneo (Vicente-Serrano *et al.*, 2009; Lorenzo *et al.*, 2008; Jerez *et al.*, 2013; Casanueva *et al.*, 2014; Vicente-Serrano *et al.*, 2009; Lorenzo *et al.*, 2008). Además, durante el invierno, la fase positiva de la NAO podría actuar como precursora de las ciclogénesis explosivas que afectan a Europa (Gómara *et al.*, 2014).

Trabajos recientes sugieren combinaciones de la NAO con otros PT, como el patrón SCAND y EA, para explicar la variabilidad climática del SO de Europa (Comas-Bru and MacDermott, 2014). Desde una perspectiva más regional, patrones como la Oscilación del Mediterráneo (MO) y la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) (Martin Vide and López-Bustins, 2006; Vicente-Serrano *et al.*, 2009; Lana *et al.*, 2016) son también importantes a la hora de describir la variabilidad atmosférica de la región. Junto con la NAO, el índice del oeste (Barriopedro *et al.*, 2014), que proporciona una medida de la persistencia de vientos del oeste sobre el Canal de la Mancha es capaz de explicar gran parte de la variabilidad de las sequías en Europa (Vicente-Serrano *et al.*, 2016).

En otras estaciones distintas del invierno, la NAO presenta una estructura mucho menos zonal debido al debilitamiento del chorro extratropical, apareciendo otros PT dominantes de la variabilidad climática en Europa (García-Herrera and Barriopedro, 2018). Así, en otoño, los patrones atmosféricos globales proyectan mejor en un PT tipo EA, cuya estructura e impactos asociados dependen del flujo medio atmosférico, experimentando oscilaciones de baja frecuencia. Así, su estructura anular se ha intensificado en las últimas décadas, mientras que en las décadas anteriores exhibió un patrón de onda-4 (número de onda 4) (King *et al.*, 2017). En comparación con la NAO de invierno, el modo dominante de variabilidad en verano (julio-agosto), también conocido como NAO de verano (Summer NAO, SNAO), es más regional y está desplazado hacia el norte. A diferencia de la NAO de invierno, su impacto es mayor en las temperaturas máximas de la península ibérica (Favà *et al.*, 2016).

Hay una clara relación no estacionaria entre la NAO de invierno y la precipitación en Europa (Hertig *et al.*, 2015). Existen diversas hipótesis que la justifican, incluyendo modificaciones en los gradientes meridionales de presión (Zveryaev, 2006), interacciones aire-océano en el Atlántico Norte y en la Circulación Meridional Profunda en el Atlántico (AMOC) (Walter and Graf, 2002; Gómara *et al.*, 2016), pero también en la actividad solar (Gimeno *et al.*, 2003) y en la variabilidad de la localización de los centros de la NAO (Haylock *et al.*, 2007; Vicente-Serrano and López-Moreno, 2008).

En invierno, la NAO está modulada por ENSO, cuya teleconexión con Europa tiene lugar a través de la troposfera y de la estratosfera (Butler *et al.*, 2014). Estudios recientes han encontrado eventos de El Niño con una estructura espacial diferente a la de El Niño tradicional del Pacífico Este (EP), referidos como El Niño del Pacífico Central (CP), que implican diferentes teleconexiones en Europa (Calvo *et al.*, 2017). La persistencia de la respuesta estratosférica y las interacciones aire-océano en el Atlántico Norte permiten que la señal de invierno de ENSO persista en Europa hasta la primavera (Herceg-Bullick *et al.*, 2017). Aunque la influencia de El Niño sobre el Atlántico Norte en primavera se ha relacionado con una fase negativa de la NAO (Brönnimann *et al.*, 2007; Vicente Serrano *et al.*, 2008; García-Serrano *et al.*, 2011), su señal no es estacionaria y depende de cambios de baja frecuencia en el estado base del océano (Greatbach *et al.*, 2004; Zanchettin *et al.*, 2008; López-Parages and Rodríguez-Fonseca, 2012; López-Parages *et al.*, 2015; López-Parages *et al.*, 2016; King *et al.*, 2017). De este modo, la variabilidad multidecadal del Atlántico Norte, también conocida como AMO (Oscilación Multidecadal del Atlántico) determina la efectividad de la teleconexión ENSO. Más aún, se han encontrado dos estructuras espaciales de ENSO, referidas como *Eastern Pacific* (EP) y *Central Pacific* (CP), que se relacionan con diferentes teleconexiones sobre Europa (Calvo *et al.*, 2017). Su influencia sobre el SO de Europa ha cambiado en el tiempo, siendo los eventos EP durante fases negativas de la AMO aquellos con mayor impacto en la precipitación de primavera (López-Parages *et al.*, 2016). Asimismo, la región del TNA tiene una influencia significativa sobre la circulación atmosférica en el sector euro-atlántico y, en particular, la península ibérica a principios de invierno y primavera, también en relación con ENSO (Frankignoul *et al.*, 2003; Rodríguez-Fonseca *et al.*, 2016; King *et al.*, 2017).

Estudios recientes han encontrado que el Niño del Atlántico también afecta al SO de Europa durante su fase de decaimiento (otoño-invierno boreal). Este impacto está determinado por la posición e intensidad de la corriente en chorro, que muestra un patrón en arco sobre la región del Atlántico Norte durante verano-otoño y un tren de ondas orientado zonalmente durante otoño-invierno (García-Serrano, 2011). Por el contrario, el Niño Atlántico de verano presenta diferentes impactos en el Mediterráneo, dependiendo del estado del resto de los océanos tropicales, con marcadas modificaciones debidas a ENSO (Losada *et al.*, 2012). Las anomalías de la temperatura de la superficie

del mar en el Mediterráneo también influyen sobre la circulación atmosférica del hemisferio norte (García-Serrano *et al.*, 2013; Sahin *et al.*, 2015) afectando a las temperaturas de verano.

En escalas decadales, la AMO (Ortiz Bevia *et al.*, 2016; Zampieri *et al.*, 2017) influye en la duración del verano en el SO de Europa (Peña-Ortiz *et al.*, 2015) así como en los regímenes de tiempo de la región mediterránea en verano. Además, se ha encontrado como, desde finales de los años 70, existe un acoplamiento entre las anomalías de precipitación asociadas al monzón de la India y las del SO de Europa (Lin *et al.*, 2017).

Aparte de los predictores oceánicos, la variabilidad asociada a la estratosfera (Scaife, 2005; Palmeiro *et al.*, 2017), la Oscilación de Madden Julian (Cassou, 2008; Schwartz *et al.*, 2017), la cubierta de nieve sobre Eurasia (Orsollini *et al.*, 2016), y la extensión de hielo marino (García-Serrano *et al.*, 2015) aparecen como nuevos predictores a tener en cuenta para una correcta evaluación de la predictibilidad del clima en el sector euro-atlántico en escalas subestacionales.

Predicciones y proyecciones futuras

En las últimas décadas han aumentado las evidencias de una posible predictibilidad de la NAO de invierno (Scaife *et al.*, 2014; Athanasiadis *et al.*, 2017), pero no se ha alcanzado un avance similar en otras estaciones ni para otros PT. Muchos estudios han mostrado mejoras en la predictibilidad estacional del Atlántico Norte basándose en dos predictores: ENSO y los calentamientos súbitos estratosféricos (SSW) (Barriopedro and Calvo, 2014; Domeisen *et al.*, 2015; Butler *et al.*, 2016).

En escalas temporales superiores (de un año en adelante), se han propuesto dos fuentes de predictibilidad de la NAO, asociadas al Pacífico y a la actividad solar y su efecto sobre la intensidad del vórtice polar estratosférico (Dunstone *et al.*, 2016).

Los ejercicios de predicción decadal multimodelo (Doblas-Reyes *et al.*, 2013) muestran un gran potencial en Europa (Guemas *et al.*, 2015; Lienert *et al.*, 2017). La información de la predicción proviene, principalmente, de la tendencia al calentamiento en el caso de la temperatura, pero también de la AMO.

El Mediterráneo se considera un «punto caliente» para las proyecciones de cambio climático, experimentando un calentamiento y una creciente desertificación. Aunque los cambios inducidos termodinámicamente a través del forzamiento de los gases de efecto invernadero (GHG) son robustos, hay considerables incertidumbres en las proyecciones futuras sobre cambios en la circulación atmosférica y en las variables relacionadas con procesos dinámicos, como por ejemplo la precipitación (Shepherd, 2014). Por ello, son esenciales las simulaciones en modo «ensemble» para estimar la distribución de probabilidad asociada. En relación con proyecciones futuras, Gonzalez-Reviriego *et al.* (2014) han encontrado una tendencia positiva de la NAO y una tendencia negativa del patrón SCAND bajo

escenarios futuros SRES A1B. Lo primero está de acuerdo con otros resultados multimodelo dados por Gillett y Fyfe (2013). La NAO continuará influyendo en la precipitación y la temperatura en las próximas décadas (López-Moreno *et al.*, 2011), y es esta tendencia positiva de la NAO de invierno la que llevará a un incremento en la frecuencia y/o severidad de sequías en la península ibérica. Más aún, como las simulaciones indican un incremento en las temperaturas (véase Serrano y Camino en este número de CE), los inviernos clasificados como «fríos» en el siglo XXI serán más «raros» que los de décadas recientes.

Respecto al verano, Bladé *et al.* (2012a, 2012b) examinaron las proyecciones de la SNAO en modelos del CMIP3, encontrando una tendencia positiva aunque con una gran dispersión. No obstante, esta tendencia es capaz de explicar una gran parte de la reducción en la precipitación media encontrada en la media multimodelo sobre el NO de Europa. Estos cambios deberían llevar a un incremento modesto de precipitación en la península ibérica, donde la correlación observada entre la SNAO y la precipitación de verano es positiva y débil, desplazando parcialmente las condiciones de sequía inducidas termodinámicamente sobre la región. No obstante, los modelos del CMIP3 no capturan este efecto porque no representan correctamente las señales en superficie de la SNAO.

Otros cambios medios en el clima proyectados en escenarios futuros incluyen un fortalecimiento y una extensión hacia el este de las trayectorias de las borrascas sobre el oeste de Europa (Feng *et al.*, 2014). El acoplamiento atmósfera-océano induce distintas respuestas atmosféricas del Niño Atlántico (Mohino and Losada, 2015). No obstante, existen incertidumbres en la circulación del océano, que a su vez explican mucha de la dispersión proyectada en las trayectorias de los ciclones extratropicales (Woollings *et al.*, 2012).

Respecto a los episodios extremos, las proyecciones futuras regionales indican un incremento generalizado de las olas de calor y las sequías en la región (Jacob *et al.*, 2014; Vicente-Serrano *et al.*, 2014). En contra, los cambios en ríos atmosféricos (AR), que causan precipitación intensa e inundaciones sobre áreas continentales, sugieren un aumento del transporte del vapor de agua integrado, produciendo precipitación extrema sobre Escandinavia (Ramos *et al.*, 2016). En relación con los ciclones de tipo explosivo, aunque la mayor parte de ellos tiene lugar en el norte de Europa, desplazamientos abruptos de la NAO hacia el sur, modulados por cambios en la AMOC, podrían causar un aumento de su frecuencia en regiones subtropicales europeas (Gómara *et al.*, 2016).

De forma similar a lo observado en las últimas décadas, se espera que la variabilidad multidecadal de los océanos en el siglo XXI actué como un interruptor de las teleconexiones globales, aumentando la predictibilidad en ciertas regiones (López-Parages *et al.*, 2015). De esta forma, los estudios futuros deberían considerar la variabilidad decadal que acompañará a los cambios forzados proyectados para la región mediterránea (Mariotti *et al.*, 2015).

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la comunidad española trabajando en teleconexiones sobre el suroeste de Europa por el esfuerzo hecho en los últimos años pese a la reducción severa en la financiación nacional. Asimismo, los autores quieren agradecer a Francisco Doblas-Reyes e Ileana Bladé por sus contribuciones en el texto.

Referencias

- Athanasiadis, P. J., Bellucci, A., Scaife, A. A., Hermanson, L., Materia, S., Sanna, A., ... & Gualdi, S., 2017: A Multisystem View of Wintertime NAO Seasonal Predictions. *J. Climate*, 30 (4), 1461-1475.
- Barriopedro, D., Gallego, D., Álvarez-Castro, M. C., García-Herrera, R., Wheeler, D., Pena-Ortiz, C., and Barbosa, S. M., 2014: Witnessing North Atlantic westerlies variability from ships' logbooks (1685-2008). *Clim. Dyn.*, 43 (3-4), 939-955.
- Barriopedro, D., Calvo, N., 2014: On the relationship between ENSO, Stratospheric Sudden Warmings and Blocking. *J. Climate*, 27 (12), 4704-4720, doi: 10.1175/JCLI-D-13-00770.1.
- Bladé, I., Fortuny, D., van Oldenborgh, G. J. and Liebmann, B., 2012a: The summer North Atlantic Oscillation in CMIP3 models and related uncertainties in projected summer drying in Europe. *J. Geophys. Res.: Atmospheres* (1984-2012), 117 (D16).
- Bladé, I., Liebmann, B., Fortuny, D. and van Oldenborgh, G. J., 2012b: Observed and simulated impacts of the summer NAO in Europe: implications for projected drying in the Mediterranean region. *Clim. Dyn.*, 39 (3-4), 709-727.
- Brönnimann, S., Xoplaki, E., Casty, C., Pauling, A., & Luterbacher, J., 2007: ENSO influence on Europe during the last centuries. *Clim. Dyn.*, 28 (2-3), 181-197.
- Butler, A. H., Arribas, A., Athanassiadou, M., Baehr, J., Calvo, N., Charlton-Perez, A., Déqué, M., Domeisen, D. I. V., Fröhlich, K., Hendon, H., Imada, Y., Ishii, M., Iza, M., Karpechko, A. Yu., Kumar, A., MacLachlan, C., Merryfield, W. J., Müller, W. A., O'Neill, A., Scaife, A. A., Scinocca, J., Sigmond, M., Stockdale, T. N. and Yasuda, T., 2016: The Climate-system Historical Forecast Project: do stratosphere-resolving models make better seasonal climate predictions in boreal winter? *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 142, 1413-1427, doi:10.1002/qj.2743.
- Calvo, M. Iza, M. M. Hurwitz, E. Manzini, C. Peña-Ortiz, A. H. Butler, C. Cagnazzo, S. Ineson, and C. I. Garfinkel, 2017: Northern Hemisphere Stratospheric Pathway of different El Niño flavors in Stratosphere-Resolving CMIP5 models. *J. Climate*, 30, 4351-4371, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0132.1.
- Casado, M. J., Pastor, M. A., Doblas-Reyes, F. J., 2008: Euro-Atlantic circulation types and modes of variability in winter. *Theoretical Applied Climatology*, 96, 17-29, doi:10.1007/s00704-008-0036-2.
- Casanueva Vicente, A., Rodríguez Puebla, C., Frías Domínguez, M. D., & González Reviriego, N., 2014: Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns.
- Cassou, C., 2008: Intraseasonal interaction between the Madden-Julian oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 455 (7212), 523.
- Christensen, J. H., Kanikicharla, K. K., Marshall, G., & Turner, J., 2013: Climate phenomena and their relevance for future regional climate change.
- Comas-Bru, L., & McDermott, F., 2014: Impacts of the EA and SCA patterns on the European twentieth century NAO—winter climate relationship. *Q. J. Royal Met. Soc.*, 140 (679), 354-363.
- Doblas-Reyes, F. J., Andreu-Burillo, I., Chikamoto, Y., García-Serrano, J., Guemas, V., Kimoto, M., ... & Van Oldenborgh, G. J., 2013: Initialized near-term regional climate change prediction. *Nature communications*, 4, 1715.
- Domeisen, D. I., Butler, A. H., Fröhlich, K., Bittner, M., Müller, W. A., & Baehr, J., 2015: Seasonal predictability over Europe arising from El Niño and stratospheric variability in the MPI-ESM seasonal prediction system. *J. Climate*, 28 (1), 256-271.
- Dunstone, N., Smith, D., Scaife, A., Hermanson, L., Eade, R., Robinson, N., ... & Knight, J., 2016: Skilful predictions of the winter North Atlantic Oscillation one year ahead. *Nature Geoscience*, 9 (11), 809-814.
- Favà, V., Curto, J. J., & Llasat, M. C., 2016: Regional differential behaviour of maximum temperatures in the Iberian Peninsula regarding the Summer NAO in the second half of the twentieth century. *Atmospheric Research*, 182, 319-334.
- Feng, S., Hu, Q., Huang, W., Ho, C. H., Li, R., & Tang, Z., 2014: Projected climate regime shift under future global warming from multi-model, multi-scenario CMIP5 simulations. *Global and Planetary Change*, 112, 41-52.
- Frankignoul, C., Friederichs, P., & Kestenare, E., 2003: Influence of Atlantic SST anomalies on the atmospheric circulation in the Atlantic-European sector. *Annals of Geophysics*.
- García-Herrera and Barriopedro, 2018, in review: Climate of the Mediterranean and North Africa. Oxford Research Encyclopedia of Climate Science, doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.509.

- García-Serrano, J., Polo, I., Rodríguez-Fonseca, B. and Losada, T., 2013: Large-scale atmospheric response to eastern Mediterranean summer-autumn SST anomalies and the associated regional impact. *Clim. Dyn.*, Vol 41, 9-10, pp. 2251-2265, doi: 10.1007/s00382-013-1940-4.
- García-Serrano, J., Frankignoul, C., Gastineau, G., & De La Cámara, A., 2015: On the predictability of the winter Euro-Atlantic climate: lagged influence of autumn Arctic sea ice. *J. Climate*, 28 (13), 5195-5216.
- García-Serrano, J., Cassou, C., Douville, H., Giannini, A., & Doblas-Reyes, F. J., 2017: Revisiting the ENSO teleconnection to the tropical North Atlantic. *J. Climate*, 30 (17), 6945-6957.
- García-Serrano, J., Rodríguez-Fonseca, B., Bladé, I., Zurita-Gotor, P., & de La Cámara, A., 2011: Rotational atmospheric circulation during North Atlantic-European winter: the influence of ENSO. *Clim. Dyn.*, 37 (9-10), 1727-1743.
- Gillett, N. P., and Fyfe, J. C., 2013: Annular mode changes in the CMIP5 simulations. *Geophysical Research Letters*, 40 (6), 1189-1193.
- Gimeno, L., de la Torre, L., Nieto, R., García, R., Hernández, E., and Ribera, P., 2003: Changes in the relationship NAO–Northern hemisphere temperature due to solar activity. *Earth and Planetary Science Letters*, 206 (1), 15-20.
- Gómara, I., Rodríguez-Fonseca, B., Zurita-Gotor, P., & Pinto, J. G., 2014: On the relation between explosive cyclones affecting Europe and the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 41 (6), 2182-2190.
- Gómara, I., Rodríguez-Fonseca, B., Zurita-Gotor, P., Ulbrich, S., and Pinto, J. G., 2016: Abrupt transitions in the NAO control of explosive North Atlantic cyclone development. *Clim. Dyn.*, 47 (9-10), 3091-3111.
- González-Reviriego, N., Rodríguez-Puebla, C., & Rodríguez-Fonseca, B., 2015: Evaluation of observed and simulated teleconnections over the Euro-Atlantic region on the basis of partial least squares regression. *Clim. Dyn.*, 44 (11-12), 2989-3014.
- Greatbatch, R. J., Lu, J., & Peterson, K. A., 2004: Non-stationary impact of ENSO on EuroAtlantic winter climate. *Geophysical Research Letters*, 31(2).
- Guemas, V., García-Serrano, J., Mariotti, A., Doblas-Reyes, F., and Caron, L. P., 2015: Prospects for decadal climate prediction in the Mediterranean region. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141 (687), 580-597.
- Handorf, D., & Dethloff, K., 2009: Atmospheric teleconnections and flow regimes under future climate projections. *The European Physical Journal-Special Topics*, 174 (1), 237-255.
- Haylock, M. R., Jones, P. D., Allan, R. J., and Ansell, T. J., 2007: Decadal changes in 1870-2004 Northern Hemisphere winter sea level pressure variability and its relationship with surface temperature. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 112 (D11).
- Herceg-Buliæ, I., Mezzina, B., Kucharski, F., Ruggieri, P., & King, M. P., 2017: Wintertime ENSO influence on late spring European climate: the stratospheric response and the role of North Atlantic SST. *Int. J. Climatol.*, 37 (S1), 87-108.
- Hertig, E., Beck, C., Wanner, H., & Jacobeit, J., 2015: A review of non-stationarities in climate variability of the last century with focus on the North Atlantic-European sector. *Earth-science reviews*, 147, 1-17.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B. & Yiou, P., 2014: EURO CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change*, 14, 563-578, doi:10.1007/s10113-013-0499-2.
- Jérez, S., Jiménez-Guerrero, P., Montávez, J. P., Trigo, R. M., 2013: Access Impact of the North Atlantic Oscillation on European aerosol ground levels through local processes: a seasonal model-based assessment using fixed anthropogenic emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 11195-11207, doi:10.5194/acp-13-11195-2013.
- King, M. P., Herceg-Buliæ, I., Kucharski, F., & Keenlyside, N., 2017: Interannual tropical Pacific sea surface temperature anomalies teleconnection to Northern Hemisphere atmosphere in November. *Clim. Dyn.*, 1-19.
- Lana, X., Burgueño, A., Martínez, M. D., & Serra, C., 2016: Complexity and predictability of the monthly Western Mediterranean Oscillation index. *Int. J. Climatol.*, 36 (6), 2435-2450.
- Lienert, F., and Doblas-Reyes, F. J., 2017: Prediction of interannual North Atlantic sea surface temperature and its remote influence over land. *Climate* Ramos, A. M., Tomé, R., Trigo, R. M., Liberato, M. L., & Pinto, J. G., 2016: Projected changes in atmospheric rivers affecting Europe in CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 43 (17), 9315-9323. *Dynamics*, 48 (9-10), 3099-3114.
- Lin, Z., Liu, F., Wang, B., Lu, R., & Qu, X., 2017: Southern European rainfall reshapes the early-summer circuglobal teleconnection after the late 1970s. *Clim. Dyn.*, 48 (11-12), 3855-3868.

- Liu, Z., & Alexander, M., 2007: Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections. *Reviews of Geophysics*, 45 (2).
- López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Kenawy, A., and Beniston, M., 2011: Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: observed relationships and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change*, 77 (1), 62-76.
- López-Parages, J., Rodríguez-Fonseca, B., 2012: Multidecadal modulation of El Niño influence on the Euro-Mediterranean rainfall. *Geophysical Research Letters*, 39 (2).
- López-Parages, J., Rodríguez-Fonseca, B., Terray, L., 2015: A mechanism for the multidecadal modulation of ENSO teleconnection with Europe. *Clim. Dyn.*, 45 (3-4), 867-880.
- López-Parages, J., Rodríguez-Fonseca, B., Dommenges, D., & Frauen, C., 2016: ENSO influence on the North Atlantic European climate: a non-linear and non-stationary approach. *Clim. Dyn.*, 47 (7-8), 2071-2084.
- Lorenzo, M. N., Taboada, J. J. and Gimeno, L., 2008: Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain). *Int. J. Climatol.* 28, 1493-1505, doi:10.1002/joc.1646.
- Losada, T., Rodríguez-Fonseca, B. and Kucharski, F., 2012: Tropical Influence on the Summer Mediterranean Climate. *Atmospheric Science Letters*, Vol. 13, pp. 36-42, doi: 10.1002/asl.359.
- Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N., & Alessandri, A., 2015: Long term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability. *Clim. Dyn.*, 44 (5-6), 1437-1456.
- Martín-Vide, J., & López-Bustins, J. A., 2006: The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 26 (11), 1455-1475.
- Martín-Rey, M., Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I. and Kucharski, F., 2014: On the Atlantic-Pacific Niños connection: a multidecadal modulated mode. *Clim. Dyn.*, doi: 10.1007/s00382-014-2305-3.
- Martín-Rey, M., Rodríguez-Fonseca, B. and Polo, I., 2015: Atlantic opportunities for ENSO prediction. *Geophysical Research Letters*, 42, doi:10.1002/2015GL065062.
- Mohino, E., & Losada, T., 2015: Impacts of the Atlantic Equatorial Mode in a warmer climate. *Clim. Dyn.*, 45 (7-8), 2255-2271.
- Müller, W. A., and Roeckner, E., 2008. ENSO teleconnections in projections of future climate in ECHAM5/MPI-OM. *Clim. Dyn.*, 31 (5), 533-549.
- Orsolini, Y. J., Senan, R., Vitart, F., Balsamo, G., Weisheimer, A., & Doblas-Reyes, F. J., 2016: Influence of the Eurasian snow on the negative North Atlantic Oscillation in subseasonal forecasts of the cold winter 2009/2010. *Clim. Dyn.*, 47 (3-4), 1325-1334.
- Ortiz Bevia, M. J., Ruiz de Elvira, A., Álvarez-García, F. J., & Tasambay-Salazar, M., 2016: The multidecadal component of the Mediterranean summer variability. *Clim. Dyn.*, 47 (9-10), 3373-3386.
- Palmeiro, F. M., Iza, M., Barriopedro, D., Calvo, N., & García-Herrera, R., 2017: The complex behavior of El Niño winter 2015-2016. *Geophysical Research Letters*, 44 (6), 2902-2910.
- Polo, I., Martín-Rey, M., Rodríguez-Fonseca, B., Kucharski, F. and Mechoso, C. R., 2015: Processes in the Pacific La Niña onset triggered by the Atlantic Niño. *Clim. Dyn.*, 44, 115-131, doi: 10.1007/s00382-014-2354-7.
- Peña-Ortiz, C., Barriopedro, D., García-Herrera, R., 2015: Multidecadal Variability of the summer length in Europe. *J. Climate*, 28 (13), 5375-5388, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00429.1.
- Quadrelli, R., and Wallace, J. M., 2004: A simplified linear framework for interpreting patterns of Northern Hemisphere wintertime climate variability. *J. Climate*, 17 (19), 3728-3744.
- Pinto, J. G., 2016: Projected changes in atmospheric rivers affecting Europe in CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 43 (17), 9315-9323.
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., Serrano, E., & Castro, M., 2006: Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the European and Northern African winter climate. *Int. J. Climatol.*, 26 (2), 179-191.
- Rodríguez-Fonseca, B., & Rodríguez-Puebla, C., 2010: Teleconexiones climáticas en el entorno de la Península Ibérica. Predictabilidad y cambios esperados. Clima en España: pasado, presente y futuro. Informe de evaluación del cambio climático regional, CLIVAR-España, 1-85.
- Rodríguez-Fonseca, B., Suárez-Moreno, R., Ayarzagüena, B., López-Parages, J., Gómara, I., Villamayor, J., Mohino, E., Losada, T., Castaño-Tierno, A., 2016: A Review of ENSO Influence on the North Atlantic. A Non-Stationary Signal. *Atmosphere*, 7 (7), 87.
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., García-Serrano, J., Losada, T., Mohino, E., Mechoso, C.R., and Kucharski, F., 2009: Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades? *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L20705, doi 10.1029/2009GL040048.

- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., Serrano, E., & Castro, M., 2006: Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the European and Northern African winter climate. *Int. J. Climatol.*, 26 (2), 179-191.
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., García-Casado, L. A., Nieto, S., 2010: Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: Relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, 100, 667-684.
- Rodríguez-Puebla, C., Nieto, S., 2010: Trends of precipitation over the Iberian Peninsula and the North Atlantic Oscillation under climate change conditions. *Int. J. Climatol.*, 30, 1807-1815.
- Şahin, S., Türkeş, M., Wang, S. H., Hannah, D., & Eastwood, W., 2015: Large scale moisture flux characteristics of the mediterranean basin and their relationships with drier and wetter climate conditions. *Clim. Dyn.*, 45 (11-12), 3381-3401.
- Scaife, A. A., Knight, J. R., Vallis, G. K., & Folland, C. K., 2005: A stratospheric influence on the winter NAO and North Atlantic surface climate. *Geophysical Research Letters*, 32 (18).
- Scaife, A. A., Arribas, A., Blockley, E., Brookshaw, A., Clark, R. T., Dunstone, N., ... & Hermanson, L., 2014: Skillful longrange prediction of European and North American winters. *Geophysical Research Letters*, 41 (7), 2514-2519.
- Schwartz, C., & Garfinkel, C. I., 2017: Relative roles of the MJO and stratospheric variability in North Atlantic and European winter climate. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 122 (8), 4184-4201.
- Shepherd, T. G., 2014: Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections. *Nature Geoscience*, 7, 703-708, doi:10.1038/ngeo2253.
- Tompkins, A. M., M. I. Inés Ortiz de Zárate, R. I. Saurral, C. Vera, C. Saulo, W. J. Merryfield, M. Sigmond, W.-S. Lee, J. Baehr, A. Braun, A. Butler, M. Déqué, F. J. Doblas-Reyes, M. Gordon, A. A. Scaife, Y. Imada, M. Ishii, T. Ose, B. Kirtman, A. Kumar, W. A. Müller, A. Pirani., T. Stockdale, M. Rixen and T. Yasuda., 2017: The Climate-system Historical Forecast Project: providing open access to seasonal forecast ensembles from centers around the globe. *Bull. Amer. Met. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-16-0209.1.
- Trenberth, K. E., Branstator, G. W., Karoly, D., Kumar, A., Lau, N. C., and Ropelewski, C., 1998: Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *J. Geophys. Res.: Oceans*, 103 (C7), 14291-14324.
- Trigo, R. M., Osborn, T. J., & Corte-Real, J. M., 2002: The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Research*, 20 (1), 9-17.
- Vicente-Serrano, S. M., García-Herrera, R., Barriopedro, D., Azorín-Molina, C., López-Moreno, J. I., Martín-Hernández, N., Tomás-Burguera, M., Gimeno, L., Nieto, R., 2016: The Westerly Index as complementary indicator of the North Atlantic oscillation in explaining drought variability across Europe. *Clim. Dyn.*, 47 (3), 845-863, doi:10.1007/s00382-015-2875-8.
- Vicente-Serrano, S., & R. M. Trigo (eds.), 2011: Hydrological, Socioeconomic and Ecological Impacts of the North Atlantic Oscillation in the Mediterranean Region. Springer, Netherlands.
- Vicente-Serrano, S., Beguería, S., López-Moreno, J., El Kenawy, A., and Angulo, M., 2009: Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk in Northeast Spain: the role of the North Atlantic Oscillation, Western Mediterranean Oscillation and Mediterranean Oscillation, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 114, D08106, doi:10.1029/2008JD011492.
- Vicente-Serrano, S. M., and López-Moreno, J. I., 2008: Nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 113 (D20).
- Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sánchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., Azorín-Molina, C., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., 2014: Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, 9 (4), doi:10.1088/1748-9326/9/4/044001.
- Vitart, F., Robertson, A. W., & Anderson, D. L., 2012: Subseasonal to Seasonal Prediction Project: Bridging the gap between weather and climate. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 61 (2), 23.
- Wallace, J. M., and Gutzler, D. S., 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109 (4), 784-812.
- Walter, K., and Graf, H. F., 2002: On the changing nature of the regional connection between the North Atlantic Oscillation and sea surface temperature. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 107 (D17).
- Woollings, T., Gregory, J. M., Pinto, J. G., Reyers, M., and Brayshaw, D. J., 2012: Response of the North Atlantic storm track to climate change shaped by ocean-atmosphere coupling. *Nature Geoscience*, 5 (5), pp. 314-317, doi: 10.1038/ngeo1438.
- Zampieri, M., Toreti, A., Schindler, A., Scoccimarro, E., and Gualdi, S., 2017: Atlantic multi-decadal oscillation influence on weather regimes over Europe and the

Mediterranean in spring and summer. *Global and Planetary Change*, 151, 92-100.

Zanchettin, D., Franks, S. W., Traverso, P., & 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 (8), 995-1006.

Zveryaev, I. I., 2006: Seasonally varying modes in long term variability of European precipitation during the 20th century. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 111 (D21).