

PREDICCIÓN ESTACIONAL OPERATIVA EN AEMET.

Sánchez García, E., Franco Manzano, F., Rodríguez Camino, E.

AEMET, Delegación en Cantabria, esanchezg@aemet.es

AEMET, Área de Evaluación y Modelización del Clima, ffrancom@aemet.es

AEMET, Área de Evaluación y Modelización del Clima, erodriguezc@aemet.es

1. Introducción

El carácter caótico de la atmósfera limita la predecibilidad determinista de su evolución hasta un máximo de 10-15 días. Sin embargo, más allá de este alcance las condiciones atmosféricas mantienen cierta predecibilidad pero solamente en un sentido estadístico. Las predicciones a escala estacional por tanto tienen este carácter netamente probabilístico que las diferencia de las predicciones deterministas que solamente tienen sentido en las predicciones para alcances no superiores a unos pocos días. De hecho, en el plazo medio (5-10 días) coexisten ambos enfoques si bien el enfoque probabilístico va siendo cada vez más utilizado. Incluso en plazos cortos (1-3 días) la predicción probabilística se utiliza cada vez más sobre todo para las variables que presentan un mayor grado de incertidumbre como p.e. la precipitación (Weller et al. 2010).

La predecibilidad –siempre de carácter probabilístico- a escala de tiempo estacional depende fuertemente de ciertos modos de variabilidad, de las regiones, de la época del año y de las variables. Las predicciones estacionales de carácter operativo se circunscriben frecuentemente a las principales variables climáticas: temperatura y precipitación (Kirtman y Pirani 2008). La escasa predecibilidad que exhibe la atmósfera en las latitudes medias, y sobre el SW de Europa en particular (Doblas-Reyes 2010), obliga a que habitualmente se empleen enfoques probabilísticos robustos basados en terciles

2. Predecibilidad a escala estacional.

La predicción estacional es factible en términos operativos gracias a unas fuentes de predecibilidad que podemos agrupar en tres categorías (Weller et al. 2010):

- *Variables que exhiben inercia o memoria*, p.e., contenido calor océano, contenido en agua del suelo, etc.
- *Estado y fase de patrones dominantes de océano y/o atmósfera*, p.e., ENSO, NAO, etc.
- *Forzamiento externo*: erupciones volcánicas, cambios actividad solar, etc.

En el caso particular de la península Ibérica, multitud de estudios empíricos han permitido identificar fuentes de predecibilidad en diferentes variables del sistema climático si bien solamente circunscrito a ciertas épocas del año. A modo de ejemplo, se puede citar la señal predictiva estival de la temperatura de la superficie del mar en la zona norte del Océano Atlántico (p.e., Venzke et al. 1999, Czaja y Frankignoul 1999, Drevillon et al. 2001), la señal predictiva de octubre de la cobertura de nieve sobre Eurasia (p.e., Cohen y Entekhabi 1999, Bojariu y Gimeno 2003, Saito y Cohen 2003, Saunders et al. 2003), la señal predictiva de la NAO en invierno (Ogi et al. 2003a, 2003b), la señal predictiva del contenido de agua en el suelo en primavera (Fischer et al. 2007, Ferranti y Viterbo 2006), etc.

3. Estrategia de AEMET en escala estacional.

En términos generales, la predicción estacional operativa se basa en modelos dinámicos y modelos estadísticos. Los modelos dinámicos resuelven las ecuaciones hidrodinámicas del sistema climático bien mediante sistemas atmósfera-océano-superficie terrestre totalmente acoplados o bien mediante sistemas en dos pasos (*2 tier* en la literatura inglesa) basados en la integración solamente de la componente atmosférica (paso 2) forzado por una anomalía previamente prevista del océano (paso 1). Los modelos estadísticos, también llamados empíricos, se basan en las relaciones obtenidas entre variables predictoras y variables predictandos (usualmente temperatura y precipitación) mediante el análisis de registros históricos.

AEMET genera un boletín mensual interno de carácter pre-operativo que sirve de base para realizar las estimaciones de anomalías de temperatura y precipitación para el trimestre siguiente. Este boletín utiliza toda la información actualmente disponible de todos los sistemas operativos principalmente basados en modelos dinámicos y genera a continuación una predicción por consenso.

Simultáneamente, y con vistas a su implementación en el medio plazo, en AEMET se

está desarrollando un algoritmo para calibrar y combinar toda la información disponible de una forma objetiva utilizando un método bayesiano (Stephenson et al. 2005, Coelho et al. 2006).

4. Calibración y Combinación de Predicciones Estacionales.

El método bayesiano utilizado en AEMET que se basa en el enfoque denominado *forecast assimilation* (Coelho 2005, Coelho et al. 2006) combina la información histórica (climatológica) con las predicciones obtenidas a partir de diferentes modelos, pudiendo ser éstos tanto dinámicos como estadísticos. Al combinar varios modelos se mejora la habilidad de para discriminar entre diferentes situaciones observadas y mediante la calibración se persigue que la frecuencia observada sea igual a la probabilidad predicha.

Como su nombre indica, se basa en el teorema de Bayes (Fig. 2). Por tanto, se necesita una función de probabilidad de partida (prior) y una función de probabilidad de paso (likelihood).

$$p(y_f / x_f) = \frac{p(x_f / y_f) p(y_f)}{p(x_f)}$$

Fig. 1.- Teorema de Bayes

En nuestro caso, la primera la hemos calculado a partir de la climatología disponible (también podría tomarse algún modelo estadístico disponible). La segunda la obtenemos mediante una regresión lineal multivariante de las predicciones del modelo (o combinación de modelos) sobre las observaciones, para un periodo disponible común a ambas. De esta forma conseguimos minimizar el error de los modelos y calibrarlos. Por último, aplicando el teorema, obtenemos la función de probabilidad a posteriori (posterior), o sea, nuestra predicción (*forecast assimilation*).

La Fig. 2 muestra un esquema de enfoque basado en *forecast assimilation* con el espacio de observación, el espacio del modelo y las probabilidades de partida, la función de probabilidad de paso y la probabilidad posterior.

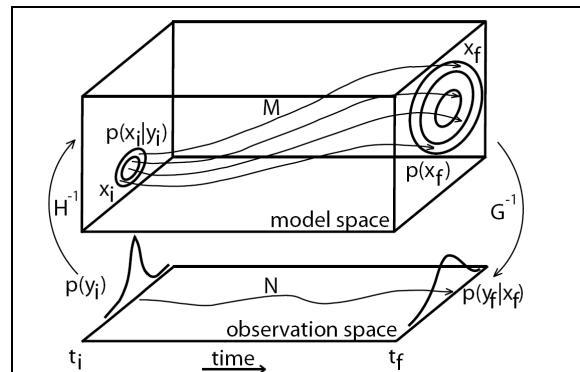


Fig. 2.- Espacio de trabajo en FA (fuente: Coelho 2005)

5. Predecibilidad de diferentes AOGCMs en la Península Ibérica.

Un elemento esencial antes de abordar la predicción estacional operativa es el conocimiento de la predecibilidad de los diferentes modelos con los que se va a trabajar para las diferentes variables que se pretenden predecir estacionalmente y para las diferentes épocas del año. En esta sección y de forma preliminar se ha analizado una colección de modelos de los que inicialmente se disponía de *hindcast*. Se han evaluado tentativamente diferentes modelos bien individualmente o en combinación y con o sin *forecast assimilation* (véase la Fig.3).

Modelo	
DEMETER:	DEMETER MF+EC+UK (members:0-9)
EC:	ECMWF S4 (members:1-15)
FA_EC:	FA ECMWF S4
FA_MF:	FA Météo-France S3
FA_EC+MF:	FA ECMWF S4 + Météo-France S3
IRI:	IRI ECHAM4.5 (members:1-11)
MF:	Météo-France S3 (members:1-11)
NCEP:	NCEP CFS (members:1-15)
UK:	UKMO Glo Sea (members:1-15)

Fig. 3.- Modelos usados en el estudio de predecibilidad.

La base de datos de las observaciones la hemos obtenido del proyecto ENSEMBLE (0.25° E-

OBS 4.0 y 0.50° E-OBS 3.0), para el periodo que abarca desde 1982 a 2005.

En esta primera fase hemos realizado el estudio desde un punto de vista determinista. Para ello elegimos la media del coeficiente de correlación en el área que abarca la Península Ibérica [10W-5E, 35N-45N] como índice de verificación. Las Figs 4-9 muestran la media del coeficiente de correlación para temperatura y precipitación y para los lead-times 1, 2 y 3.

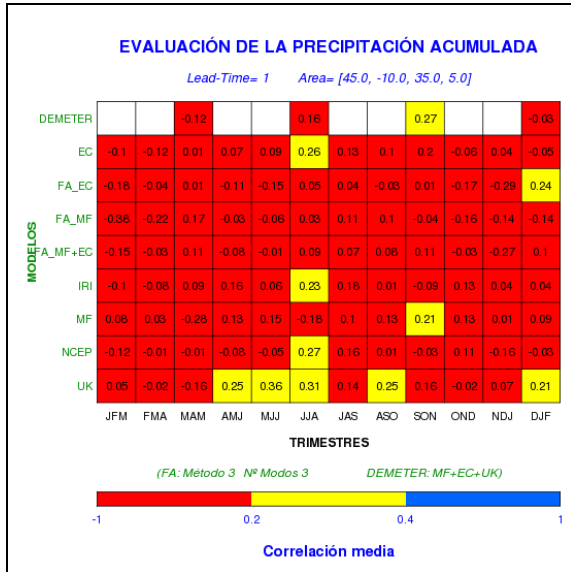


Fig. 4.- Correlación media. Precipitación. Lead Time 1.

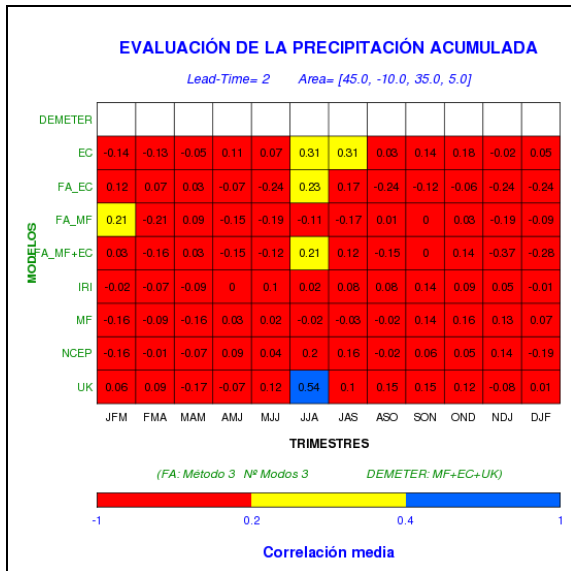


Fig. 5.- Correlación media. Precipitación. Lead Time 2.

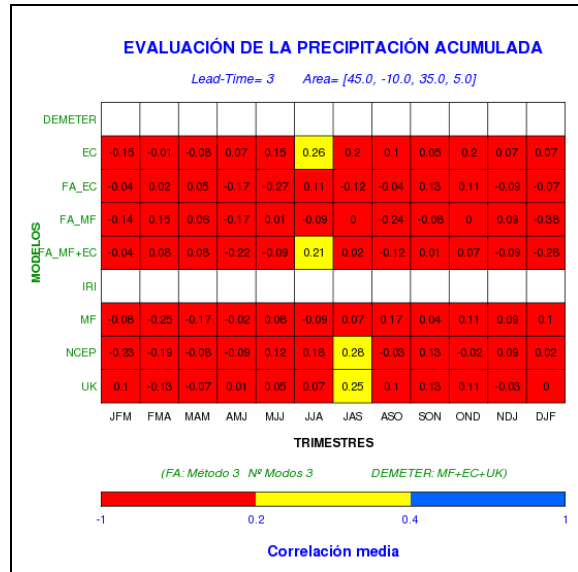


Fig. 6.- Correlación media. Precipitación. Lead Time 3.

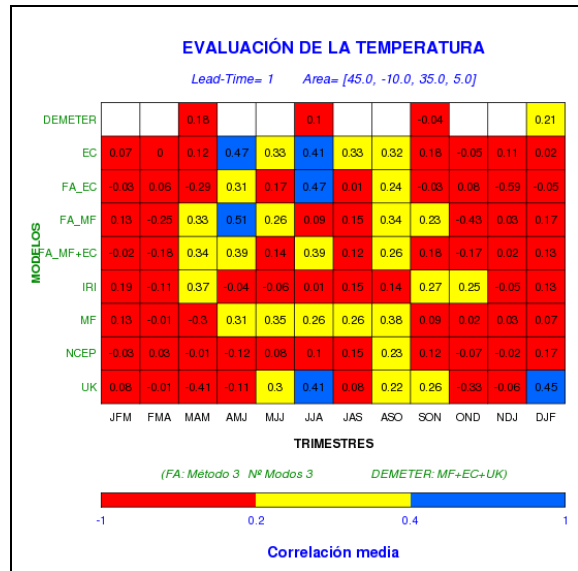


Fig. 7.- Correlación media. Temperatura. Lead Time 1.

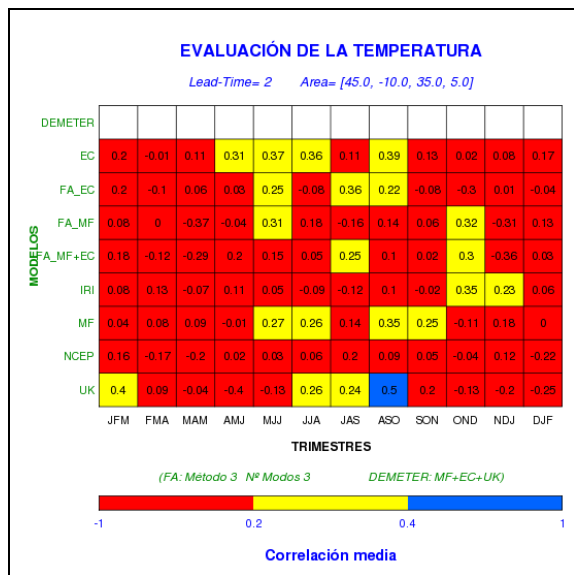


Fig. 8.- Correlación media. Temperatura. Lead Time 2

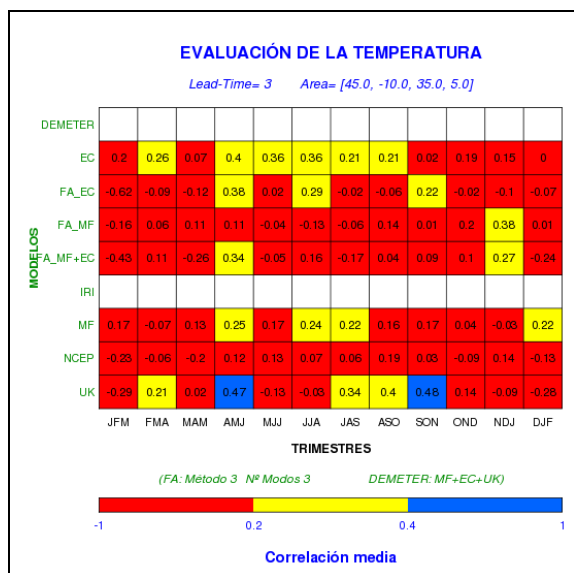


Fig. 9.- Correlación media. Temperatura. Lead Time 3

De las tablas resumidas en las Fig. 4-9 se puede concluir que

- Existe más predicibilidad en temperatura que en precipitación.
- Comparando con resultados similares en otras regiones, la predicibilidad es relativamente baja.
- Existe una predicibilidad que se mantiene en los diferentes lead times.
- Hay bastante consistencia entre modelos.
- La predicibilidad es mayor en los meses estivales que invernales.

6. Boletín de predicción estacional.

Desde febrero de 2011, en AEMET se elabora con una periodicidad mensual un boletín climatológico para fines de predicción estacional. Este boletín está disponible inicialmente para uso interno entre los días 20 y 23 de cada mes. Consta de 4 partes diferenciadas:

- Análisis global y regional de la atmósfera y el océano.
- Descripción de las características más importantes de los modelos de predicción estacional utilizados.
- Predicciones estacionales para el trimestre posterior a la fecha de publicación del boletín producidas por los modelos de los centros de Beijing, ECMWF, Exeter, Melbourne, Montreal, Moscow, CPTEC, Pretoria, Seoul, Toulouse, Washington, Tokyo, IRI y EUROSIP.
- Elaboración de la predicción estacional por consenso para la Península Ibérica, Baleares y Canarias.

En el análisis global y regional de la atmósfera y el océano se describe el estado de la atmósfera y del océano acontecido el mes anterior a la elaboración del boletín analizando el comportamiento de los modos de variabilidad relevantes (ENSO, NAO, etc). Asimismo se analiza como han sido las anomalías de temperatura y precipitación.

A escala regional se presenta el comportamiento de la temperatura y la precipitación en la Península Ibérica, Baleares y Canarias durante el mes anterior a la publicación del boletín.

Se incluyen las predicciones estacionales generadas por los modelos anteriormente mencionados para las variables geopotencial, temperatura y precipitación. También se incluyen mapas relativos a la consistencia de los diferentes modelos considerados. Toda la información se refiere al lead time 1, es decir a los tres meses siguientes al mes de elaboración del boletín. La Figs. 9 y 10 muestran ejemplos de predicciones deterministas de todos los modelos considerados en el boletín.

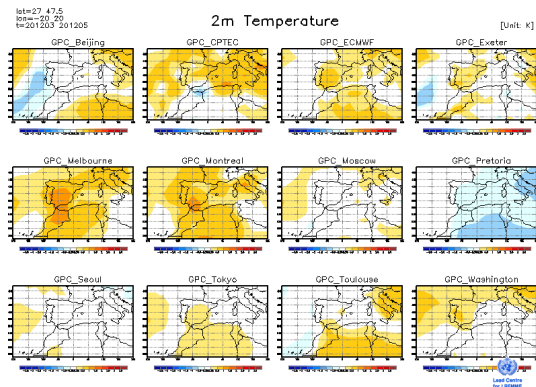


Fig 10. Predicciones deterministas de anomalía temperatura a 2 m

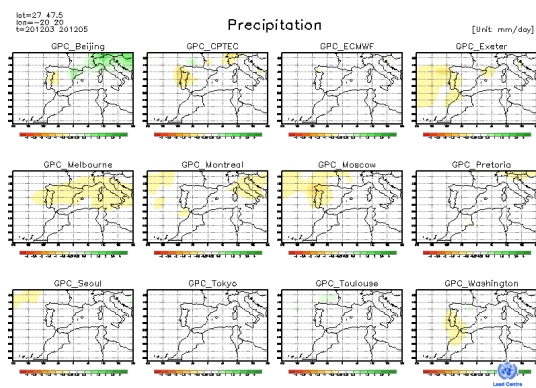


Fig 11. Predicciones deterministas de anomalía de precipitación

Finalmente, se elabora una tabla resumen de predicción estacional para los cuatro cuadrantes de la península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias con un sencillo código de colores que indica el carácter de la anomalía (positiva o negativa) y la intensidad (débil o moderada). La Fig. 12 muestra un ejemplo de tabla resumen.

MODELOS	NW	SW	NE	SE	CANARIAS	BALEARES
IRI						
EUROSIP						
BEIJING						
ECMWF						
OPTEC						
EXETER						
MELBOURNE						
MONTREAL						
MOSCOW						
PRETORIA						
SEOUL						
TOKYO						
TOULOUSE						
WASHINGTON	no datos	no datos	no datos	no datos	no datos	no datos

	Débil anomalía positiva
	Moderada anomalía positiva
	Débil anomalía negativa
	Moderada anomalía negativa

Fig 12. Tabla por cuadrantes con la salida de los modelos para los cuadrantes peninsulares, Baleares y Canarias.

Un mapa por cuadrantes peninsulares, Baleares y Canarias y un texto (que se inserta en la web externa de AEMET: <http://www.aemet.es>) constituye el

resumen final de toda la información analizada en el boletín y el grado de consenso de la misma (véase Fig. 13).

ANOMALIA TEMPERATURA JJA



	Ausencia de anomalía
	Débil anomalía positiva
	Moderada anomalía positiva
	Débil anomalía negativa
	Moderada anomalía negativa

Fig 13. Mapa por cuadrantes resumiendo la información de todos los modelos para la anomalía de temperatura en el trimestre siguiente.

7. Conclusiones

Dada la baja predecibilidad de la atmósfera a escala estacional sobre latitudes extratropicales, es extremadamente necesario combinar de forma óptima todas las fuentes que puedan aportar predecibilidad utilizando tanto los diferentes sistemas operativos basados en modelos dinámicos como los algoritmos empíricos que contribuyen con fuentes adicionales de predecibilidad..

Se ha presentado la actividad en predicción estacional -actualmente en fase de desarrollo- de AEMET. Entre estas actividades se incluyen: (1) estudios de predecibilidad sobre un dominio que cubre la PI de los sistemas actualmente operativos en diversos centros de predicción estacional; (2) generación de un boletín mensual que sirve de apoyo a la predicción estacional operativa actualmente basada en el consenso de modelos; (3) desarrollo de un algoritmo que combina y calibra la información disponible de los distintos sistemas de predicción accesibles.

Referencias

- Bojariu R. y L. Gimeno (2003). The influence of snow cover fluctuations on multiannual AO/NAO persistence, Geophys. Res. Lett.,30, 1156, doi:10.1029/2002GL015651.

- Coelho, C. A. S. (2005) Forecast calibration and combination: Bayesian assimilation of seasonal climate predictions. PhD thesis, Department of Meteorology, University of Reading. 178 pp.
- Coelho C.A.S., D. B. Stephenson, M. Balmaseda, F. J. Doblas-Reyes y G. J. van Oldenborgh (2006). Towards an integrated seasonal forecasting system for South America. *J. Climate*. 19, No. 15, 3704-3721.
- Cohen, J. y D. Entekhabi (1999). Eurasian snow cover variability and Northern Hemisphere climate predictability, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 345–348.
- Czaja, A. y Frankignoul, C. (1999). Influence of the North Atlantic SST on the atmospheric circulation. *Geophysical Research Letters*, vol. 26, No. 19, pages 2969-2972.
- Doblas-Reyes, F. (2010). Seasonal prediction over Europe. Proceedings of the ECMWF Seminar on Predictability in the European and Atlantic regions, 6 to 9 September 2010. (available from http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/_pdf/seminar/2010/Doblas_Reyes.pdf)
- Drevillon, M., L. Terray, P. Rogel, y C. Cassou, (2001). Midlatitude Atlantic SST influence on European winter climate variability in the NCEP reanalysis, *Climate Dynamics*.
- Ferranti L y Viterbo P (2006). The European summer of 2003: sensitivity to soil water initial conditions *J. Clim.* 19 3659–80.
- Fischer, E. M., S. I. Seneviratne, P. L. Vidale, D. Luthi, y C. Schar (2007). Soil moisture— atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *Journal of Climate* 20:5081–5099.
- Kirtman, B. y A. Pirani. (2008). WCRP Position Paper on Seasonal Prediction: Report from the First WCRP Seasonal Prediction Workshop, June 4–7, 2007, Barcelona, Spain. WCRP Informal Report No. 3/2008, ICPO Publication No. 127.
- Ogi, M., Y.Tachibana y K.Yamazaki (2003). Impact of the Wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the Summertime Atmospheric Circulation. *Geophys. Res. Lett.* 30(13),1704,doi:10.1029/2003GL017280.
- Ogi, M., K. Yamazaki y Y.Tachibana (2004). The summertime annular mode in the northern hemisphere and its linkage to the winter mode, *Journal of Geophysical Research*, 2004 October, Vol.109, D20114, doi:10.1029/2004JD004514.
- Saito, K. y J. Cohen (2003). The potential role of snow cover in forcing interannual variability of the major Northern Hemisphere mode, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1302, doi:10.1029/2002GL016341.
- Saunders, M. A., B. Qian, y B. Lloyd-Hughes (2003). Summer snow extent heralding of the winter North Atlantic Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1378, doi:10.1029/2002GL016832.
- Stephenson, D. B., Coelho, C. A. S., Doblas-Reyes, F. J. y Balmaseda, M. (2005). Forecast Assimilation: a unified framework for the combination of multi-model weather and climate predictions. *Tellus* 57A: 253–264.
- Weller R.A., Anderson J.L., Arribas A., Dickinson R.E., Goddard L., Kalnay E., Kirtman B., Koster R.D., Richman M.B., Saravanan R., Waliser D., Wang B. (Committee on Assessment of Intraseasonal to Interannual Climate Prediction and Predictability) (2010). *Assessment of Intraseasonal to Interannual Climate Prediction and Predictability*. National Research Council. National Academies Press. ISBN: 0-309-15184-8, pp 192.
- Venzke, S., M. R. Allen, R. T. Sutton y D. P. Rowell, The atmospheric response over the North Atlantic to decadal changes in sea surface temperatures, *J. Climate*, 12, 2562– 2584, 1999.