

# PREDICCIÓN DE VELOCIDAD MEDIA Y RACHAS MÁXIMAS DIARIAS DE VIENTO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA MEDIANTE METODOLOGÍA DE ANÁLOGOS

Álvaro PASCUAL<sup>1</sup>, Álvaro SUBIAS<sup>1</sup>, María Luisa MARTÍN<sup>2</sup>, Francisco VALERO<sup>1</sup>, Amelia GARCÍA<sup>2</sup>, Luis Ignacio SEBASTIÁN<sup>2</sup>, María Yolanda LUNA<sup>3</sup> y Ana MORATA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Dpto. Astrofísica y CC. de la Atmósfera. Facultad de CC Físicas. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. Spain. \*: a.depascual@fis.ucm.es.*

<sup>2</sup>*Escuela Universitaria de Informática de Segovia. Universidad de Valladolid. Pza. Sta. Eulalia 9-11. 40005 Segovia. Spain.*

<sup>3</sup>*Agencia Estatal de Meteorología. Madrid. C/ Leonardo Prieto Castro, 8. 28040, Madrid. Spain. a.depascual@fis.ucm.es, subias@fis.ucm.es, mlmartin@eii.uva.es, valero@fis.ucm.es, amegar@eii.uva.es, lisebastian@infor.uva.es, mlunar@aemet.es, amoratag@aemet.es*

## RESUMEN

Predicciones de velocidad de viento medio diario y de rachas diarias son obtenidas mediante una metodología basada en búsqueda de análogos utilizando datos de circulación a gran escala. Para ello, tres conjuntos de datos han sido usados para el periodo 1970-2009: presión diaria a nivel del mar sobre el Atlántico Norte, datos diarios observacionales de velocidad media de viento y datos de rachas diarias en la Península Ibérica. En un primer paso, se emplea un análisis de componentes principales para reducir la dimensionalidad de la base de datos atmosférica. Posteriormente, un método de cálculo de análogos es usado para predecir viento medio y rachas de viento. Se muestran resultados de correlación espacial, sesgo, error cuadrático medio entre los campos predicho y observado, evaluando la capacidad de la metodología utilizada en la predicción de viento medio y racha máxima. Resultados probabilísticos de las predicciones de viento son también mostrados en contraste con la predicción determinista. Algunos estadísticos de validación (fiabilidad, índices de Brier, ...) indican la bondad del sistema predictor en el área de estudio. Resultados de valores extremos, basados en diferentes umbrales de varianza de valores observacionales, son también analizados de forma probabilista.

**Palabras clave:** Análogos, Velocidad Media, Rachas, Análisis de Componentes Principales.

## ABSTRACT

This work aims to obtain and analyze predictions of daily mean wind speed and daily wind gust through an analogous downscaling methodology using the large-scale atmospheric circulation. In a first step, multivariate methodology is used to reduce the dimensionality of the large-scale atmospheric database. Then, an analogous downscaling methodology is used to predict Iberian mean winds and wind gusts. Several results of spatial correlations, bias and root mean squared errors between observational and predicted fields are displayed, evaluating the skilful of the used methodologies for predicting mean winds and wind gusts. Several probabilistic verification results are also shown in contrast to a deterministic forecast. Extremes are defined

taking into account several thresholds in terms of variance values of the observational mean winds and gusts.

**Key words:** Analogs, Mean wind speed, Wind gust, Principal Component Analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables se han revelado en las últimas décadas como las energías sostenibles y limpias que más interés han suscitado. En este marco de trabajo, el estudio de la energía eólica se ha convertido en una tecnología útil y en continuo desarrollo. El conocimiento de los patrones atmosféricos, principalmente aquellas distribuciones atmosféricas que conllevan situaciones meteorológicas de riesgo relacionadas con vientos extremos, es especialmente importante en las aplicaciones de energía eólica. El grupo de trabajo al que pertenecen los autores ha llevado a cabo estudios relativos a la temática de energía eólica mostrando cómo diferentes distribuciones atmosféricas presentan gran influencia en el campo de viento en la Península Ibérica (Martin et al., 2011a; Martin et al., 2011b). Asimismo, han analizado la predicción de viento extremos teniendo en cuenta diferentes umbrales de intensidad (Pascual et al., 2010; Pascual et al., 2012) utilizando diferentes metodologías.

El presente trabajo muestra los resultados de predicciones de velocidad de viento y rachas obtenidos a partir de la aplicación de una metodología de análogos utilizando previamente una clasificación de patrones atmosféricos obtenida mediante metodología multivariante. Estos resultados de velocidad de viento y rachas, obtenidos de patrones atmosféricos análogos, son comparados mediante diversos parámetros estadísticos tanto deterministas como probabilistas.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

Diversos conjuntos de datos son usados en este estudio: presión diaria a nivel del mar (SLP) a las 12:00 UTC en un área que cubre el Océano Atlántico Norte y Europa, velocidad media diaria de viento (MWS) y rachas diarias de viento (WGU) en diversos observatorios distribuidas en Iberia. Estas bases de datos han sido agrupadas estacionalmente: invierno (DEF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON). La base de datos utilizada de SLP es extraída de los Reanálisis de ERA40 (Gibson et al., 1997) durante un registro temporal de 1958-2007. De esta manera, las series de datos de SLP están igualmente espaciadas en el tiempo, de forma que las de invierno constan de 50 inviernos seguidos; las de primavera tienen, agrupados de esta manera, 50 conjuntos de primaveras seguidas, y así las demás estaciones. Así, se analizan las componentes principales de forma estacional (como se verá en la sección siguiente), extrayendo la información adecuada de cada estación y no mezclando información entre las diferentes estaciones que podría quedar enmascarada al tratar todos los datos de forma conjunta. Los datos SLP han sido modificados aplicando una corrección matemática para tener en cuenta la densidad espacial irregular de la rejilla utilizada.

La base de datos MWS consiste en series temporales de datos diarios de 23 observatorios distribuidos por la Península Ibérica (Fig. 1) para el periodo 1980-2001. A partir de los datos diarios, el viento medio diario fue calculado para esos 22 años. Por otra parte, la base de datos WGU consiste en series temporales de 73 observatorios (Fig. 1) para el mismo período temporal.

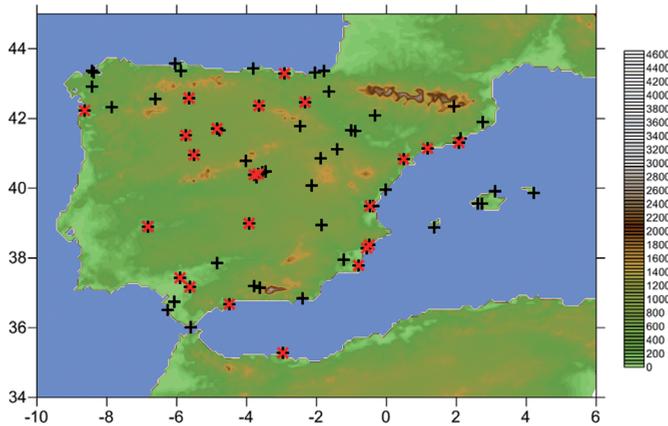


FIG. 1: Observatorios con viento medio (rojo) y con rachas de viento (negro) en la Península Ibérica con la orografía detallada.

Previo al desarrollo del método de análogos utilizado, se aplica al conjunto de datos de gran escala un análisis de componentes principales con objeto de reducir la dimensionalidad espacial de los datos, disminuyendo así la gran cantidad de grados de libertad con la que se trataba (Joliffe, 1986; Preisendorfer, 1988). Con la descomposición *modo-S* (Richman, 1988) se obtienen estadísticamente patrones que podrían atribuirse a procesos físicos específicos. Las variables no correlacionadas que se obtienen, llamadas componentes principales (PCs), consisten en combinaciones lineales de las variables originales obtenidas a partir de la diagonalización de la matriz de covarianza/correlación. Los coeficientes de las combinaciones lineales representan el peso de las variables originales en los PCs y se denotan por pesos o patrones. La proyección del campo original sobre cada autovector da como resultado coeficientes dependientes del tiempo, es decir, series temporales a las que se denominan *scores*. Para obtener más información de estos scores, se les aplica un análisis wavelet multi-resolución (WMA). La técnica de la transformada wavelet fue introducida y formulada por Morlet et al. (1982) y Grossmand y Morlet (1984). Las wavelets han sido aplicadas exitosamente a diferentes estudios de series meteorológicas y climatológicas para analizar sus escalas temporales de variabilidad (Gamage y Blumen, 1993; Morata et al., 2008), subrayando las ventajas de esta tecnología comparada con el análisis de la transformada de Fourier. Adicionalmente a la técnica wavelet, se han aplicado a las series de PCs análisis más tradicionales basados en análisis espectrales y tests de Mann-Kendall han sido (Goossens and Berger, 1986).

Dentro del marco de trabajo del Proyecto Europeo SafeWind, varios trabajos basados en metodología multivariante han estado desarrollándose para obtener situaciones atmosféricas análogas a una situación dada con vientos extremos (Martin et al., 2010; Pascual et al., 2010). La búsqueda de análogos está basada en el análisis de situaciones atmosféricas para encontrar situaciones similares a una dada. Utilizando la metodología de análogos en este trabajo, a partir de una situación atmosférica de entrada, "input", varias situaciones similares son encontradas en diversas fechas, de forma que se va generando un conjunto histórico de situaciones con gran similitud meteorológica. Así, diversos campos de viento en tales fechas son seleccionados y, a partir de ellos, un campo de viento predicho puede obtenerse en el área de estudio. En el algoritmo de proceso de cualquier modelo de análogos se necesita una función de distancia (Cofiño, 2004) que pondere la similitud de una situación atmosférica con situaciones pasadas. En el presente trabajo, diferentes funciones de distancias han

sido usadas y propuestas (Pascual et al., 2010) basadas en el uso de varias metodologías multivariantes, permitiendo así reducir la dimensionalidad al encontrar los análogos y maximizar la varianza explicada en las bases de datos. Utilizando estos métodos, situaciones atmosféricas similares a un input particular son determinadas y varios campos de viento de MWS y WGU son obtenidos, tratando de caracterizar y predecir el viento en la Península Ibérica.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados espaciales y temporales de los PC

En esta sección se explica desde el punto de vista espacial y temporal, los resultados que se obtienen del análisis de componentes principales, previo al análisis de análogos expuesto en la subsección siguiente. Los resultados de PCA son explicados desde el punto de vista espacial, analizando la distribución espacial del patrón obtenido, y desde el punto de vista temporal, estudiando la variabilidad del espacio tiempo/frecuencia de cada componente principal obtenida. Por razones de brevedad, se expondrán únicamente los resultados de la primera componente obtenida de invierno aunque la metodología de análogos finalmente se aplica a los primeros 15 PCs (acumulando el 76% de la varianza total) de todas las estaciones en que se han agrupado los datos.

El primer PC da cuenta del 21% de la varianza total del campo SLP. Su patrón espacial (Fig. 2a) se caracteriza por una configuración dipolar norte-sur con altos valores de correlación. Uno de los centros se ubica sobre la Península Ibérica mientras que el otro lo hace al este de Groenlandia. Este patrón muestra un gradiente meridional similar al patrón de teleconexión de la Oscilación del Atlántico Norte, NAO (Barnston and Livezey, 1987). El reforzamiento de altas presiones en latitudes medias promueve la aparición de vientos de poniente en el Atlántico Norte, temperaturas inferiores a lo normal en Groenlandia y superiores en la zona este de Estados Unidos y el norte de Europa.

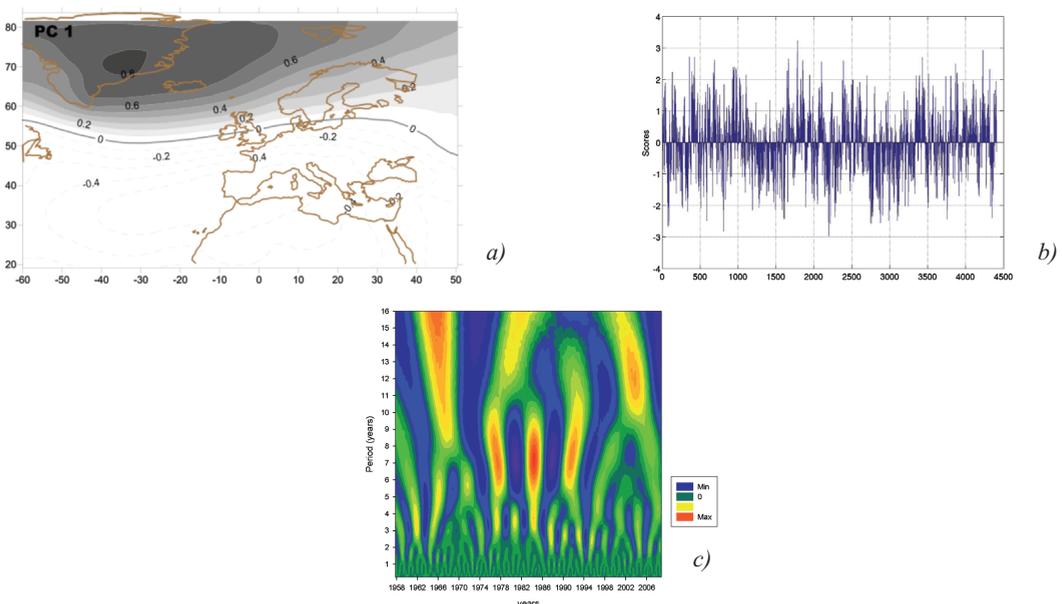


FIG. 2: (a) Primer patrón espacial de SLP en invierno. Los contornos indican valores de correlación. (b) Series temporal del primer modo de SLP. (c) Espectro wavelet de la serie temporal del primer modo de SLP. El eje y representa la escala de variabilidad (años) y el eje x corresponde al periodo temporal.

Al igual que el patrón espacial ha sido analizado, la primera componente principal es analizada desde el punto de vista temporal. La variabilidad temporal del primer modo está caracterizada por un marcado carácter interanual (Fig. 2b). No se han encontrado tendencias significativas en la serie temporal. El espectro wavelet del primer PC de SLP (Fig. 2c), mostrado como función del periodo y del tiempo, está principalmente caracterizado por escalas que abarcan entre los 5 y los 10 años a lo largo de todo el registro (1958-2007), mostrando gran intensidad espectral concentrada principalmente entre 1974 y 1994 con una notable evolución de núcleos de máximos y mínimos. Hay además oscilaciones altamente energéticas, principalmente núcleos negativos, en escalas inferiores a 3 años, indicando variabilidad intraanual e interanual en dichos periodos.

Como resumen podemos decir que al igual que en la parte espacial el patrón obtenido es similar al patrón de la NAO, en la parte temporal lo más destacado es obtenido si se aplica la transformada wavelet ya que al obtener unas series de componentes principales, éstas por naturaleza propia, no presentan tendencias significativas. Así la wavelet expuesta, muestra los principales aspectos desde el punto de vista de tiempo/frecuencia de la componente principal de invierno, exponiendo sus principales escalas temporales de variabilidad. En esta sección, se han explicado los resultados que se obtienen del análisis de componentes principales, desde el punto de vista espacial y temporal, y que es previo al análisis de análogos expuesto en la subsección siguiente y que de otra forma, quedaría difuminado con el tratamiento posterior de análogos.

### 3.2. Resultados de análogos

A partir de los patrones PC obtenidos para cada estación, se ha utilizado la técnica de análogos para buscar situaciones atmosféricas similares para cada uno de los días incluidos en el histórico de datos de SLP. De esta forma, para cada uno de los días presentes en el histórico de SLP (1958-2007), se han buscado los días análogos comparando los scores resultantes de la proyección del día sobre el espacio vectorial conformado por los quince primeros PC de la estación correspondiente, con las series temporales de scores obtenidas mediante el análisis de componentes principales de SLP en la misma estación (Fig. 3a). Una vez se han obtenido los patrones atmosféricos de mayor similitud del histórico de datos son utilizados los valores correspondientes de MWS y WGU para la obtención final de una estimación de viento predicho.

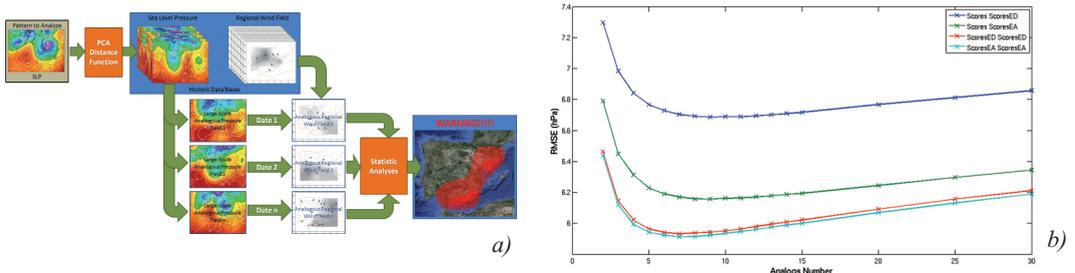


FIG. 3: (a) Diagrama que muestra el flujo de trabajo de la técnica de análogos. (b) Error cuadrático medio asociado a la estimación del propio campo de entrada SLP utilizando diferentes métricas en la función de distancia.

Como se ha mencionado con anterioridad, la metodología de análogos requiere de una función de distancia que cuantifique la similitud existente entre diversos patrones atmosféricos. En el presente

trabajo, se han evaluado la utilización de diversas funciones de distancia para la comparación de scores (Fig. 3b). Asimismo, también se ha comprobado la influencia de la cantidad de análogos utilizados para la predicción (Pascual et al. 2010). Para ello se descomponen los campos de entrada sobre el espacio vectorial reducido obtenido por el análisis PCA del histórico de situaciones atmosféricas, posteriormente se ha calculado el error cuadrático medio (rmse) asociado a la estimación del propio campo de entrada de SLP mediante la aplicación de diferentes métricas en la función de distancia del modelo. La Figura 3 muestra, para la estación de invierno, los errores obtenidos por el modelo utilizando diferentes métricas dentro de la función de distancia. Los errores dependen claramente de la función de distancia utilizada. La función finalmente seleccionada es aquella que minimiza los errores obtenidos (línea azul claro) la cual se caracteriza por incluir un ajuste estadístico de los scores obtenidos de la proyección del campo. Utilizando esta función de distancia se han obtenido los patrones análogos y la media de los campos de viento asociados a los días análogos (MWS y WGU) ha sido utilizada como estimación de viento para cada uno de los días de estudio.

Aplicando un punto de vista determinista, se pueden utilizar diversos estadísticos (error cuadrático medio, sesgo y correlación) para evaluar la bondad de las predicciones de MWS y WGU. Por el contrario, dado que la predicción por análogos ofrece un conjunto de predicciones plausibles, es posible considerar éstas como una predicción probabilista pudiendo así evaluar las diferencias entre las distribuciones de probabilidad estimada por el modelo y observada para cada variable. En este sentido, es posible utilizar entonces estadísticos de validación como son el Brier Skill Score (BSS) y los diagramas de fiabilidad.

El BSS se define como:

$$BSS = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}}$$

donde BS denota el estadístico de validación conocido como Brier Score, que se define como:

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2$$

siendo  $p_i$  y  $o_i$  las probabilidades predicha y observada y  $n$  el número de observaciones de que se dispone. El  $BS_{ref}$  es el cálculo del propio BS con respecto a un modelo de referencia que comúnmente es el modelo climático o el de persistencia. En el presente trabajo, se ha utilizado el modelo climático como referencia, es decir, la probabilidad de un evento se define como la frecuencia observacional del mismo a lo largo del registro (30 años).

El análisis determinista de los resultados del modelo se muestra en la Tabla 1. Los valores de sesgo, rmse y correlación se han obtenido como el valor medio obtenido para todos los observatorios de cada una de las variables de estudio (MWS y WGU). Atendiendo a los resultados, se observan valores de sesgo considerablemente bajos para ambos casos y correlaciones elevadas apuntando una elevada relación entre las variables de entrada y salida del modelo, esto es, entre el campo de gran escala (SLP) y las variables regionales de viento (MWS y WGU). Comparando las correlaciones obtenidas para ambas variables se puede observar la predicción de WGU que es ligeramente más fiable que la obtenida para MWS; debe sin embargo remarcar en este punto que los valores de rmse de ambas variables no son comparables ya que existen diferencias considerables en el orden de variabilidad de ambos valores.

	MWS	WGU
sesgo (m/s)	-0.1	-0.2
rmse (m/s)	1.4	3.0
<i>r</i>	0.6	0.7

TABLA 1: Sesgo, rmse y correlación (*r*) entre las observaciones y las estimaciones del modelo para las variables de viento MWS y WGU.

Se muestran además diversos estadísticos de verificación del modelo presentando éste desde un punto de vista probabilista. Para ello, se ha utilizado el modelo para predecir la probabilidad de superación de diversos umbrales. Dado que se presentan los resultados para dos variables diferentes (MWS y WGS) y que además se evalúan los resultados del modelo en diferentes observatorios, los umbrales de predicción han tenido que ser estandarizados para homogeneizar las probabilidades observacionales de todos los eventos considerados. Los umbrales quedan entonces definidos en función de la desviación estándar observacional de cada serie de datos. Teniendo en cuenta el BSS obtenido para cada uno de los mencionados umbrales, se observa para ambos casos (MWS y WGS) que el BSS muestra una estructura asimétrica (Fig. 4a) siendo todos sus valores mayores que cero. Ello indica que el modelo produce una estimación de las funciones de distribución observadas mejor que la que pueda obtenerse mediante un modelo climático. Los mejores resultados se obtienen en la estimación de eventos de viento situados ligeramente por encima de la media observacional ( $\sigma = 0.5$ ). Un umbral de racha de viento extremo puede considerarse para  $\sigma \geq 2$ , donde el modelo obtiene valores de BSS  $\approx 0.12$ . Este valor está asociado con la predicción de rachas de viento del orden de  $16 - 26 \text{ ms}^{-1}$ , localizadas en el Valle del Ebro y en el Estrecho de Gibraltar ( $\approx 3 \text{ kmh}^{-1}$ ). Cabe destacar el similar comportamiento de ambas variables, MWS y WGU, en los valores extremos de viento. Se aprecia que en general los valores de BSS obtenidos para la variable WGS son sensiblemente superiores a los obtenidos para la variable MWS.

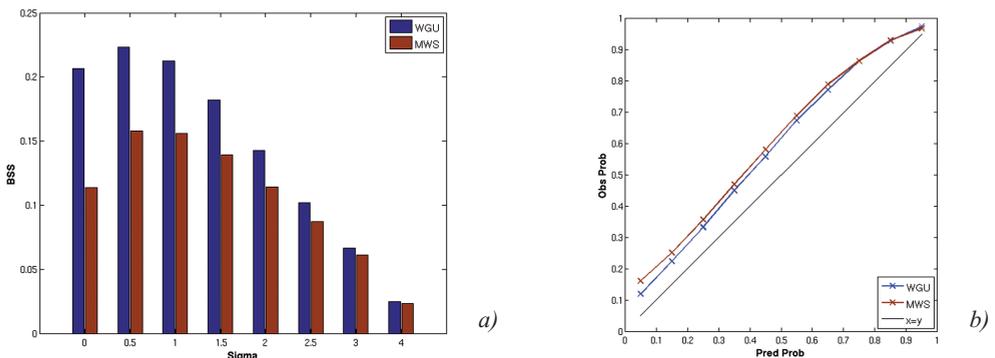


FIG. 4: (a) Resultados de BSS obtenidos para la predicción de superación de umbrales en función de  $\sigma$ . (b) Diagrama de fiabilidad del modelo para la predicción de superación del umbral  $\sigma = 0.5$ .

Los diagramas de fiabilidad (Fig. 4b) muestran la concordancia entre las probabilidades predichas y las frecuencias observadas. En el modelo óptimo, se situaría a lo largo de la línea diagonal de  $45^\circ$ .

Para el modelo que se ha propuesto, se aprecia una desviación de las curvas de fiabilidad mostrándose las probabilidades estimadas por el modelo ligeramente por debajo de las frecuencias observadas. Se tiene, pues, una infraestimación de las probabilidades predichas de superación de umbrales de viento para ambas variables. Podemos asimismo observar como el diagrama de fiabilidad obtenido para la predicción de rachas de viento (WGS) se ajusta ligeramente mejor a la bisectriz que el obtenido para la variable MWS.

El histograma de rango es una herramienta de verificación que muestra la equiprobabilidad de cada una de las estimaciones de un modelo probabilístico. En un sistema idóneo, el histograma debería ser plano indicando la falta de diferencias entre las estimaciones del modelo. La distribución de los histogramas obtenidos para el modelo propuesto presenta una forma con cierta concavidad indicando una tendencia de las estimaciones del modelo de análogos a cierta sobredispersión. Podemos observar asimismo cierta asimetría en la estructura del histograma de ambas variables que concuerda con la infraestimación de probabilidades observada en los diagramas de fiabilidad.

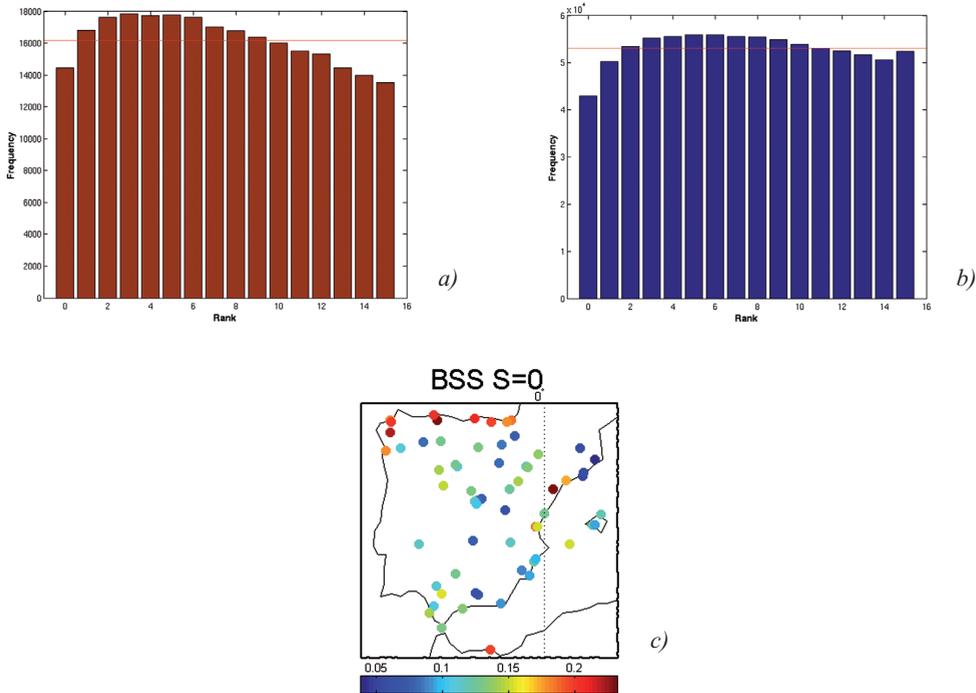


FIG. 5: Histogramas de rango para las variables: (a) MWS; (b) WGU. Distribución espacial del BSS en la predicción del umbral  $\sigma = 0$  de la variable WGU.

Se presenta además la distribución espacial de BSS para la variable WGU en todas los observatorios (Fig. 5c). Se observa como el modelo de análogos muestra los mejores resultados ( $> 0.2$ ) en el área de la cornisa cantábrica de la Península Ibérica. Esto es debido a la mayor exposición de esta zona a las situaciones atmosféricas provenientes del Atlántico Norte, denotando por lo tanto una mayor relación en el norte de la Península Ibérica entre las rachas de viento y las situaciones atmosféricas a gran escala.

#### 4. CONCLUSIONES

El trabajo presentado aplica la metodología de análogos para la predicción de velocidad media diaria (MWS) y racha máxima diaria (WGS). La técnica de análogos, utiliza previamente análisis multivariante para reducir la dimensionalidad de las base de datos utilizadas. El método de análogos compara una situación a gran escala de presión a nivel del mar (SLP), con los patrones sinópticos de SLP almacenados en una base de datos histórica. Se ha mostrado la evaluación de los resultados que la aplicación del método presenta en diferentes observatorios con datos de viento de la Península Ibérica.

Los resultados del modelo aplicados a ambas variables muestran sesgos reducidos y correlaciones razonablemente elevadas. Ello apunta a una fuerte relación los patrones de gran escala (SLP) y las variables regionales de viento estudiadas (MWS y WGU). Los Brier Skill Scores mostrados han sido obtenidos para la predicción de superación de diversos umbrales de viento tomando la climatología como modelo de referencia. Estos umbrales han sido estandarizados y recorren desde la predicción del evento “superación de la media diaria del viento”, a la predicción de eventos de valores de viento considerablemente elevados. Los resultados obtenidos muestran en todos los umbrales valores positivos indicando mejora de las estimaciones del modelo con respecto a las obtenidas con el modelo de referencia en ambas variables de viento. Los resultados en los umbrales más elevados ( $\sigma \geq 3$ ) presentan BSS considerablemente bajos, lo cual indica que el modelo aporta muy poca información con respecto al modelo de referencia.

El método de análogos en general muestra mejores resultados en la predicción de WGU que en MWS obteniéndose para la primera variable, mayores correlaciones, mayores BSS, diagramas de fiabilidad ligeramente más próximos a la bisectriz e histogramas de rango ligeramente más planos. Esto podría indicar mayor relación estadística de la variable WGU con la situación sinóptica de SLP, si bien en este razonamiento se debe además tener en consideración tanto la longitud de las series históricas de la variable local, como la presencia de datos inexistentes en las mismas.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a los proyectos de investigación CGL2011-25327, AYA2011-29967-C05-02, UE Safewind G.A. No. 21374 y VA025A10-2. Los autores agradecen a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) la cesión de los datos de viento utilizados y al European Centre for Weather Medium Forecast (ECWMF) por proporcionar los datos de ERA40.

#### REFERENCIAS

- Barnston A.G. and R.E. Livezey (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Month. Wea. Rev.*, 115, pp 1083-1126.
- Cofiño, A. S. (2004). *Técnicas estadísticas y neuronales de agrupamiento adaptativo para la predicción probabilística de fenómenos meteorológicos locales. Aplicación en el corto plazo y en la predicción estacional*. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria.
- Gamage N, Blumen W. (1993). Comparative analysis of low-level cold fronts: Wavelets, Fourier, and empirical orthogonal function decomposition. *Month. Wea. Rev.*, 121, pp 2867-2878.
- Gibson JK, Kallberg P, Uppala S, Hernandez A, Ñomura A, Serrano E. (1997). ERA description. *Technical Report Re-analysis Project Report Series 1*, ECMWF, Reading, UK.
- Goossens C, Berger A. (1984). Annual and seasonal climatic variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last century. *Ann. Geophysicae* 4: 385-400. 1986.

- Grossmand A, Morlet J. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal.* 15, pp 732-736.
- M. L. Martín, F. Valero, A. Pascual, A. Morata, and M. Y. Luna. (2011a). Springtime connections between the large-scale sea level pressure field and gust wind speed over Iberia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, pp 191-203.
- M.L. Martín, F. Valero, A. Morata, M.Y. Luna, A. Pascual, D. Santos-Muñoz (2011b). Springtime coupled modes of regional wind in the Iberian Peninsula and large-scale variability patterns. *Int. J. Climatol.*, 31, 880-895.
- A. Pascual, F. Valero, M. L. Martín, A. Morata, and M. Y. Luna (2012). Probabilistic and deterministic results of the ANPAF analog model for Spanish wind field estimations. *Atmos. Research*, Accepted.10.1016/j.atmosres.2012.01.011
- Morata A., Martín ML, Sotillo M, Valero F, Luna MY. Iberian autumn precipitation characterization through observed, simulated and reanalysed data. (2008). *Adv. Geosciences*, 16: 49-54. [www.adv-geosci.net/16/49/2008/](http://www.adv-geosci.net/16/49/2008/).
- Morlet GA, Fourceau I, Giard D. (1982). Wave propagation and sampling theory. *Geophysics*, 47, pp 203-236.
- Pascual, A., M. L. Martín, F. Valero, D. Santos-Muñoz, A. Morata and M. Y. Luna. 2010. Development of an analogous model for wind prediction using principal components. *SAFEWIND Workshop, Oldenburg, Germany*.
- Preisendorfer R. W. (1988). *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. Elsevier Science Publishers BV: Amsterdam; pp 425.
- Richman MB. ( 1988). A cautionary note concerning a commonly applied eigenanalysis procedure. *Tellus* 40B, pp 50–58.