

REGIONALIZACIÓN DEL CAMPO DE VIENTO EN SUPERFICIE EN TERRENO COMPLEJO: EVALUACIÓN DEL MODELO WRF

Pedro A. Jiménez^(1,2), J. Fidel González-Rouco⁽¹⁾, Juan P. Montávez⁽³⁾,
Elena García-Bustamante^(1,2) y Jorge Navarro⁽²⁾

⁽¹⁾ Dpto. de Astrofísica y CCs de la Atmósfera, UCM. Avd. Complutense s/n, 28040 Madrid
(pedro.jimenez@fis.ucm.es fidelgr@fis.ucm.es elena.garcia@fis.ucm.es)

⁽²⁾ División de Energías Renovables, CIEMAT. Avd. Complutense 22, 28040, Madrid
(jorge.navarro@ciemat.es)

⁽³⁾ Dpto. de Física, Universidad de Murcia. 30080, Murcia (montavez@um.es).

1.- Introducción

El gran desarrollo que está experimentando la energía eólica en los últimos años contribuye en última instancia a una mejora en la calidad de vida. Por ejemplo, contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las fuentes de energía convencionales basadas en la quema de hidrocarburos favoreciendo un desarrollo más sostenible. Por otro lado, su posible empleo para desalar el agua de mar y obtener agua potable puede contribuir en el futuro a un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Para un óptimo aprovechamiento de estas u otras aplicaciones de la energía eólica, es necesaria una adecuada evaluación de la variabilidad del viento superficial que permita seleccionar los emplazamientos más adecuados para su explotación.

La variabilidad del viento en superficie aumenta con la complejidad del terreno debido a los forzamientos dinámicos y térmicos generados por la orografía y su interacción con la dinámica y radiación atmosférica (Whiteman, 2000). Esto hace que sea necesario disponer de un gran número de observaciones para proporcionar una representación realista del campo de viento. Esta limitación de las regiones de terreno complejo puede ser paliada a través de simulaciones numéricas a alta resolución espacial, una vez que se haya evaluado su capacidad para reproducir la variabilidad observada.

La variabilidad del viento sobre la Comunidad Foral de Navarra (CFN) ha sido analizada por Jiménez et al. (2008). En concreto, se agruparon los emplazamientos con similar variabilidad temporal de viento identificándose por tanto subregiones con comportamiento homogéneo (Fig. 1). La regionalización obtenida se emplea en el presente estudio para evaluar la capacidad de las simulaciones numéricas llevadas a cabo en reproducir las circulaciones superficiales.

2.- Datos

Las 35 estaciones con mayor disponibilidad de medidas de viento de la red de la CFN fueron

seleccionadas (Fig. 1). Los datos observacionales cubren el periodo desde el 1 de Enero de 1992 hasta el 7 de Octubre de 2005.

Las simulaciones numéricas han sido realizadas con el modelo mesoscalar estado del arte Weather Research and Forecast (WRF, Skamarock et al. 2005). Para obtener una precisa evaluación, todo el periodo observacional desde 1992 hasta 2005 ha sido simulado a una alta resolución espacial (2 Km) sobre la zona de estudio.

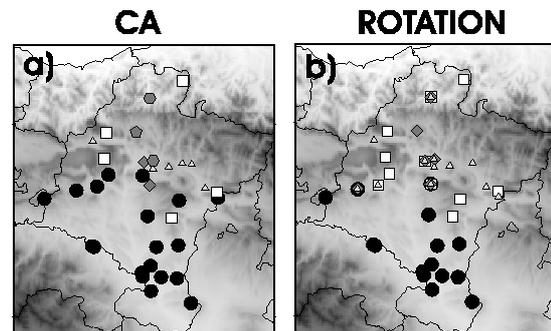


Figura 1.- Subregiones formadas por la regionalización basada en análisis cluster (a) y la basada en la rotación de los modos principales (b). Los distintos símbolos representan las subregiones emergentes.

3.- Metodología

Dos metodologías basadas en el análisis de componentes principales fueron empleadas por Jiménez et al. (2008) para identificar las subregiones de viento. La primera se basa en análisis cluster mientras que la segunda en la rotación de las componentes principales. Ambas metodologías proporcionan resultados similares lo que confiere robustez a la clasificación (Fig. 1). Un total de cuatro subregiones fueron identificadas. Una subregión que engloba estaciones en el valle del Ebro (EV). Una segunda subregión que está fundamentalmente compuesta por estaciones de montaña (MS). Una tercera formada por estaciones localizadas en áreas centrales de la CFN con una alineación norte-sur (NS) y una cuarta subregión

mayoritariamente formada por emplazamientos localizados en los valles estrechos al sur de los Pirineos (NV). La variabilidad de la componente meridiana del viento es muy similar en todas las subregiones siendo la variabilidad zonal la que causa las diferencias entre las subregiones. La región EV y NV presentan variabilidad del viento similar debido a la parecida orientación de los valles. Sin embargo, fueron mantenidas como subregiones independientes en base a que fueron identificadas por las dos metodologías de regionalización y porque pertenecen a valles diferentes.

La validación de las simulaciones se realiza evaluando su capacidad para reproducir la variabilidad del viento en las distintas subregiones. Para ello, el viento observado se representa por la simulación en el punto de red más cercano al emplazamiento de la estación de medida. Además aquellos valores simulados asociados con un dato faltante en las observaciones son suprimidos de las series simuladas.

La evaluación por regiones, en vez de directamente comparar las simulaciones con observaciones *in situ*, reduce la influencia de los efectos locales en las observaciones así como la influencia de los errores aleatorios en las series simuladas introducidos al representar las observaciones por el punto de red más cercano. Por tanto, las series promediadas amplifican la señal regional proporcionando un marco adecuado para la verificación de las simulaciones.

En un análisis posterior, la mayor resolución espacial que proporcionan las simulaciones será empleada para evaluar la variabilidad del viento en zonas donde no se dispone de observaciones. Para ello, las metodologías de regionalización se aplican al campo de viento simulado sobre la CFN. Este análisis tiene consecuencias para el potencial desarrollo de la red de estaciones de observación.

4.- Resultados

4.1- Verificación

Algunos estadísticos que ilustran el comportamiento de las componentes zonal y meridiana del viento en las distintas subregiones se muestran en la Tabla 1. Se puede observar una mejor reproducción de la variabilidad de la componente meridiana que la zonal. Esto puede ser interpretado como una consecuencia de la particular localización de la CFN entre los Pirineos y la cordillera cantábrica, que bloquean y canalizan entre ambas cadenas montañosas las circulaciones superficiales. Los sistemas montañosos son lo suficientemente grandes como para estar bien representados en las simulaciones y por lo tanto estas capturan la variabilidad que introducen en el flujo superficial. Por el contrario, la componente zonal esta más afectada por la orografía regional, ya que es la responsable de la diferente variabilidad del viento en las subregiones, que no está tan bien representada por el modelo, lo que conduce a su peor simulación.

	Corr (u / v)	Sesgo (u / v)	RMSE (u / v)
EV	0.86 / 0.91	0.46 / -0.72	1.26 / 1.38
MS	0.86 / 0.91	-0.24 / -0.86	1.07 / 1.95
NS	0.54 / 0.86	-0.48 / .087	1.26 / 1.74
NV	0.74 / 0.86	-0.21 / -0.31	1.22 / 1.37

Tabla 1.- Correlación, sesgo (m/s) y RMSE (m/s) de las series regionales de las componentes del viento observadas y simuladas.

Las series temporales de la componente zonal del viento en las distintas subregiones se muestran en la Figura 2. Se puede comprobar la similitud entre las series simulada y observada de cada subregión. La evolución del RMSE también se muestra en la Figura 2. Hay una tendencia a mostrar valores más bajos en verano que en invierno que revelan un cierto comportamiento estacional en la habilidad de las simulaciones para reproducir las circulaciones superficiales. El distinto número de estaciones disponibles no parece introducir cambios en las subregiones EV, MS y NV pero parece que tiene cierta importancia en la región NS que siempre dispone de pocas estaciones disponibles.

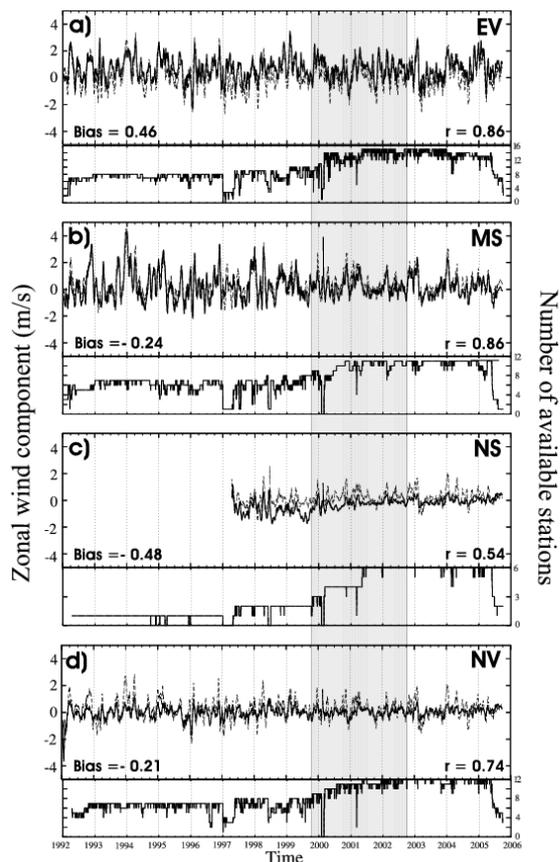


Figura 2.- Media móvil de 20 días de las series observada (línea continua) y simulada (línea discontinua) de la componente zonal del viento en la región del a) EV, b) MS, c) NS y d) NV. La media móvil del RMSE así como el número de estaciones disponibles a lo largo del tiempo están representados en la parte inferior de cada panel.

Información complementaria para evaluar la capacidad de las simulaciones en reproducir la variabilidad regional del viento puede obtenerse por medio de análisis Wavelet (Foufoula-Georgiou and Kumar 1995). Los espectros wavelet para las subregiones EV y MS pueden observarse en la Figura 3. Los wavelets de la subregión EV calculados con las observaciones (Fig. 3a) y simulaciones (Fig. 3c) muestran gran similitud. Se puede observar actividad a las frecuencias más altas durante todo el periodo, con una alternancia de contribuciones significativas en la baja frecuencia en torno al ciclo anual. La subregión MS, por el contrario, muestra densidades espectrales significativas en la banda anual durante todo el periodo (Fig. 3b), que aunque son reproducidas por las simulaciones (Fig. 3d), no llegan a ser significativas durante todo el periodo. Las simulaciones capturan la reducción de la varianza observada entre 200 y 20 días después del año 2000 (Fig. 3b). Esta reducción podría estar asociada con el variable número de estaciones disponibles en las subregiones para calcular la serie regional (Fig. 2). Sin embargo, el espectro wavelet calculado con la

serie simulada completa, sin eliminar los valores asociados con observaciones faltantes, muestra el mencionado cambio de varianza (Fig. 3f). Esto apunta hacia un cambio en la variabilidad regional del viento en la subregión. El espectro wavelet observado y simulado de las subregiones NV y NS también muestran una aceptable concordancia (no se muestra), con una degradación en el caso de NS copo podría esperarse a la vista de la correlación mostrada por ambas series (Fig. 2).

Como la variabilidad meridiana del viento es similar sobre la CFN, su espectro wavelet es parecido en todas las subregiones. Muestra un estructura similar al de la componente zonal de la subregión EV (Fig. 3a) en donde las dos componentes del viento tienen variabilidad equivalente (Jiménez et al. 2008).

4.2.- Inferencia

El reducido número de estaciones empleado para obtener la regionalización (Fig. 1) conduce a la pregunta: ¿Hasta que punto esta limitación afecta a las regiones identificadas? Como las simulaciones numéricas muestran cierta habilidad para reproducir el comportamiento de viento en la zona, uno puede beneficiarse de su mayor cobertura espacial para arrojar algo de luz a esta pregunta. Con este propósito la regionalización es reproducida con todo el campo de viento simulado sobre la CFN.

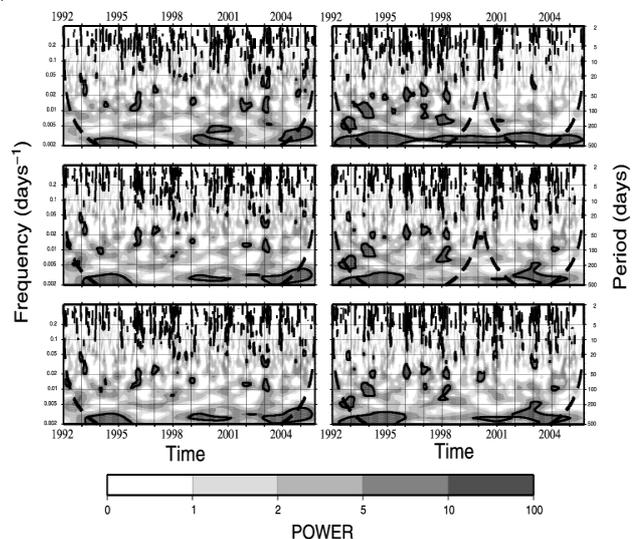


Figura 3.- Densidades espectrales del análisis wavelet para la subregión EV (paneles de la izquierda) y la subregión MS (paneles de la derecha). La primera fila se corresponde con las observaciones, la segunda con las series simuladas equivalentes a las observadas y la tercera se corresponde con las series simuladas completas. Las líneas de contorno gruesas engloban las regiones cuyo nivel de confianza es superior al 95 % al de un proceso autoregresivo de orden uno. Las líneas discontinuas representan el cono de influencia, por debajo del cual los efectos de borde son importantes.

La regionalización obtenida se muestra en la Figura 4. Las regiones que aparecen muestran claras similitudes con las regiones obtenidas con las observaciones (Fig. 1). La mayor cobertura espacial de las simulaciones reconoce otras subregiones fuera de la CFN. La subregión EV es identificada (círculos en Fig. 4), bien definida por los sistemas montañosos que la rodean. La similar variabilidad de EV y NV hace que aparezcan como una única subregión. Además, el modelo identifica una región (signos + en Fig. 4) al este de la CFN que incluye algunas zonas del valle del Ebro donde no hay observaciones. Se identifica una subregión MS (cuadrados en Fig. 4) que incluye los Pirineos y los sistemas montañosos del centro de la CFN. Otra subregión de montaña (estrellas en Fig. 4) localizada en el sistema Ibérico es también identificada. La subregión NS también parece ser reconocida (rombos, Fig. 4), cubriendo una mayor zona en el norte de la CFN. Finalmente, otra subregión localizada al norte de los Pirineos y la cordillera cantábrica, fuera de la CFN, es reconocida (triángulos en Fig. 4).

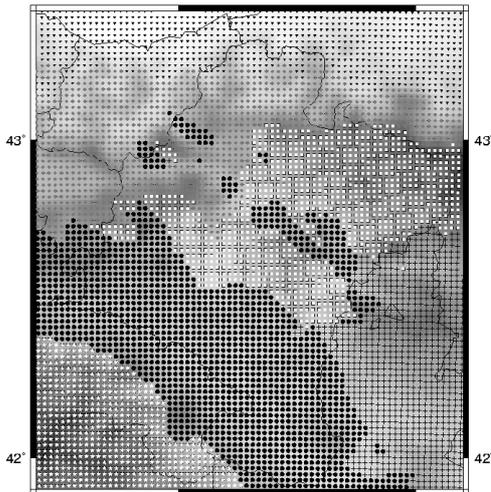


Figura 4.- Subregiones formadas tras aplicar la metodología basada en análisis cluster a la simulación completa del campo de viento.

5.- Conclusiones

Las simulaciones presentan mayor habilidad en reproducir la variabilidad meridiana del viento que la zonal. Esto es una consecuencia de la similar variabilidad del viento en las subregiones, atribuida a la influencia de las grandes cadenas montañosas del norte de la península ibérica. La variabilidad zonal está más afectada por la orografía regional que no está tan bien representada por el modelo. Un análisis wavelet muestra una onda anual permanente en la subregión MS con bandas intermitentes en las otras subregiones.

La influencia del reducido número de observaciones en la identificación de las subregiones ha sido también analizada. Con este fin, las metodologías de regionalización han sido aplicadas a las simulaciones. Los resultados muestran consistencia con las regiones identificadas con las observaciones, identificando regiones adicionales fuera de la CFN. Estos resultados proporcionan información para una posible mejora de la red de observaciones. Quizás, un par de estaciones podrían instalarse en la cima de las montañas de los Pirineos para extender la cobertura de la subregion de montaña (MS). Además, sería interesante, si alguna información en las subregiones identificadas fuera de los límites de la CFN estuviese disponible. Como estas subregiones son grandes y parecen bien definidas, sería suficiente para capturar su variabilidad con la instalación de una o dos estaciones en cada subregión.

La habilidad mostrada por las simulaciones proporciona confianza para abordar una extensión de la cobertura temporal de las simulaciones, que cubran por ejemplo todo el periodo del reánalisis. Las simulaciones podrían ser de cierta importancia en los numerosos estudios o aplicaciones relacionadas con la variabilidad superficial del campo del viento, como la evaluación de la sostenibilidad del gran número de parques eólicos instalados sobre la zona.

Agradecimientos. Los autores quieren agradecer a la sección de Evaluación de Recursos Agrarios del Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Navarra la cesión desinteresada de los datos observacionales empleados en este estudio y al ECMWF por el libre acceso a sus base de datos. Una versión inicial del programa empleado en el análisis wavelet fue proporcionada por C. Torrence y G. Compo y fue modificado por P. Ortega y PAJ para los propósitos específicos de este trabajo. La ayuda del Dr. G. Compo para realizar estas modificaciones fue particularmente útil y nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento. También nos gustaría agradecer a los Drs. M. Montoya, L. Von Bremen y J. Vilà Guerau de Arellano así como a J. M. Jiménez por sus comentarios y sugerencias durante la elaboración del estudio.

Referencias:

- Foufoula-Georgiou, E. y P. Kumar, eds., 1995: *Wavelets in Geophysics*. Academic Press, 373 pp.
- Jiménez, P. A., J. F. González-Rouco, J. P. Montávez, J. Navarro, E. García-Bustamante y F. Valero, 2008: Surface wind regionalization over complex terrain. *J. Appl. Meteor. & Clim.*, 47, 308-325.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang y J. G. Powers, 2005: A description of the advanced Research WRF version 2. Technical Report TN-468+STR, NCAR.

Whiteman, C. D., 2000: *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*, Oxford University Press.