

Análisis de extremos de viento en el mar Mediterráneo a partir de la base de datos HIPOCAS (1958-2001)

R. Aznar⁽¹⁾, M. G. Sotillo⁽²⁾, F. Valero⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dpto. Astrofísica y CC. de la Atmósfera, Universidad Complutense de Madrid, España, raznar@fis.ucm.es

⁽²⁾ Área de Medio Físico, Puertos del Estado (PE), Madrid, España, marcos@puertos.es

Resumen

La presente contribución presenta resultados de un análisis estadístico de extremos de viento en la cuenca mediterránea. Mediante el análisis de los máximos anuales de viento a 10-metros se obtienen estimaciones de niveles y periodos de retorno de dicha variable. Asimismo, se propone un método estadístico alternativo, basado en la técnica de los L-momentos regionales. Esta técnica regional permite incrementar el tamaño de la muestra, utilizando los datos de una región homogénea en lugar de los de una única localización, reduciéndose de este modo la incertidumbre. Los análisis estadísticos de vientos extremos realizados por medio de los vientos HIPOCAS proporcionan una detallada valoración de las áreas de fuertes vientos en aguas del Mediterráneo.

Introducción

Durante estos últimos años se ha incrementado el interés en el uso de energías renovables, entre las cuales, la energía eólica figura como una de las que está más en auge. En este contexto, distintos esfuerzos se están dirigiendo hacia el aprovechamiento de los recursos eólicos disponibles en zonas marítimas. Este escenario conlleva la necesidad de una valoración detallada de estos recursos eólicos. Actualmente, parte de dicha valoración se basa en los atlas de viento generados principalmente a partir de datos de reanálisis global y de satélite, que sin embargo presentan varios inconvenientes como pueden ser la infraestimación de la velocidad del viento debida a la baja resolución espacial y su inhomogeneidad temporal. Estas limitaciones son especialmente importantes en áreas tales como la cuenca mediterránea, caracterizada por una compleja distribución tierra-mar y una orografía "significativa". La base de datos de viento HIPOCAS aparece como una herramienta útil para realizar análisis de vientos extremos sobre la cuenca Mediterránea, puesto que proporciona, para un periodo de 44 años (1958-2001), datos de alta resolución espacio-temporal para el Mediterráneo.

Base de datos mediterránea HIPOCAS

La base de datos HIPOCAS, extendida sobre un

horizonte temporal de 44 años (1958-2001), es el resultado de un *hindcast* atmosférico realizado por medio del modelo atmosférico regional REMO, cubriendo toda la cuenca mediterránea con una malla de resolución horizontal de 0,5° x 0,5°. Como condiciones iniciales y de contorno se usaron los datos del reanálisis global NCEP/NCAR obtenidos originariamente sobre una malla T62, equivalente a una resolución horizontal de unos 210 km (Kalnay et al. 1996). Información adicional sobre la base de datos mediterránea HIPOCAS y el proceso de creación de la misma puede obtenerse en Sotillo et al. (2005). En ese trabajo se muestra también una validación de los datos de viento HIPOCAS en aguas del Mediterráneo por medio de comparaciones de éstos con datos in-situ y derivados de medidas de satélite. Otro ejercicio de validación de los datos de viento HIPOCAS, centrado esta vez en eventos de viento extremo, puede verse en Sotillo et al. (2003). En este caso, se compararon los episodios de vientos extremos caracterizados por HIPOCAS tanto con los observados en distintas boyas, como con los reanalizados por NCEP. Estas comparaciones mostraron que los datos HIPOCAS reproducen de un modo más fiable los principales vientos regionales mediterráneos. El presente trabajo ahonda en esta línea de investigación y presenta resultados de un análisis estadístico de vientos extremos en el Mediterráneo aplicando para ello dos metodologías distintas tanto a los datos HIPOCAS como a los datos de reanálisis NCEP.

Análisis de vientos extremos: enfoque estándar

Los análisis del viento extremo realizados sobre el total de la cuenca Mediterránea y parte de la del Atlántico Nororiental se han llevado a cabo usando las velocidades máximas anuales obtenidas a lo largo de 44 años a partir de los datos HIPOCAS y NCEP. Dichos análisis de extremos incluyeron el cálculo de periodos de retorno y los valores percentílicos correspondientes. El enfoque estándar ha consistido en ajustar la velocidad de viento máxima anual en cada punto de malla, procedente tanto de la base de datos HIPOCAS como del reanálisis NCEP, a la función de probabilidad Gumbel, que es un caso particular de la distribución de probabilidad General de Valores Extremos y ha sido usada en distintos estudios relacionados con la estimación de valores extremos. La fórmula general

de la función de densidad de probabilidad de Gumbel es

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)} e^{-e^{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)}}$$

, siendo μ el parámetro de localización y β el parámetro de escala. La distribución de probabilidad estándar de Gumbel se obtiene cuando $\mu=0$ y $\beta=1$, resultando

$$f(x) = e^x e^{-e^x}$$

Antes de describir los resultados del análisis de extremos, es conveniente mostrar la distribución espacial de la media de los máximos anuales, así como su variabilidad. Se aprecian marcados contrastes entre los patrones espaciales obtenidos a partir de los datos de reanálisis NCEP y los obtenidos a partir del *hindcast* HIPOCAS, resaltándose las acusadas diferencias existentes entre ambas bases de datos a la hora de caracterizar eventos de viento extremo. La distribución espacial de la media del viento máximo anual de HIPOCAS se caracteriza por la presencia de dos áreas de fuertes vientos, como se puede ver en la figura 1(a). La primera zona se localiza a lo largo del oeste del Mediterráneo, y cubre el área comprendida entre el Golfo de León, el norte de Argelia y Túnez y el sur de Sicilia, con vientos de hasta 22 ms^{-1} , mientras que la segunda zona está situada en la cuenca Este y afecta principalmente al Mar Egeo, alcanzándose 22 ms^{-1} . La localización geográfica de ambos áreas de máximos se ve influenciada por la presencia de vientos regionales relacionados con la orografía de la zona. En el primero de los casos mencionados, los núcleos coinciden con la confluencia de los vientos *Mistral* y *Tramontana*, mientras que el máximo presente en el Mediterráneo oriental está relacionado con los vientos *Etesios*. A diferencia de HIPOCAS, el reanálisis NCEP muestra un único núcleo de vientos máximos extendiéndose sobre la cuenca occidental del Mediterráneo (Figura 1(c)). En general, la media de los máximos anuales de NCEP es menor que la de HIPOCAS, no alcanzándose en ningún punto del Mediterráneo 20 ms^{-1} . En cuanto a la variabilidad de los datos máximos anuales, HIPOCAS presenta un máximo a lo largo del Canal Balear, con valores de desviación estándar superiores a 3 ms^{-1} , así como otras áreas de importante variabilidad en el golfo de Sidra, el norte del Adriático, el Egeo, la costa del Líbano y el mar de Azov (Figura 1(b)). En general, NCEP reproduce menor variabilidad que HIPOCAS y la mayoría de las áreas de mayor desviación típica derivadas de los datos del *hindcast*, no aparecen en los datos de reanálisis. En estas zonas, los valores de variabilidad de NCEP no sobrepasan en ningún caso 2 ms^{-1} (Figura 1(d)).

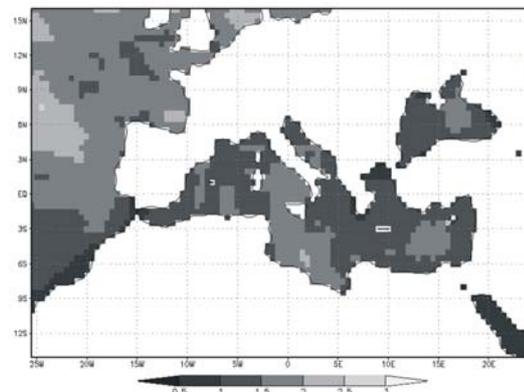
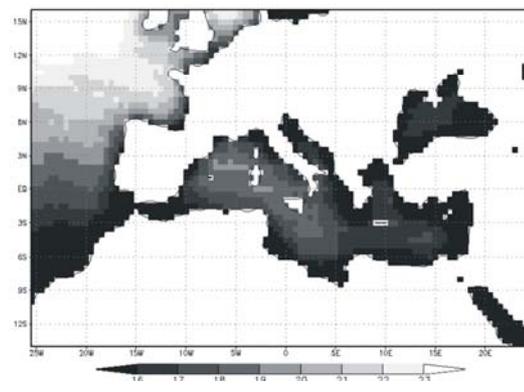
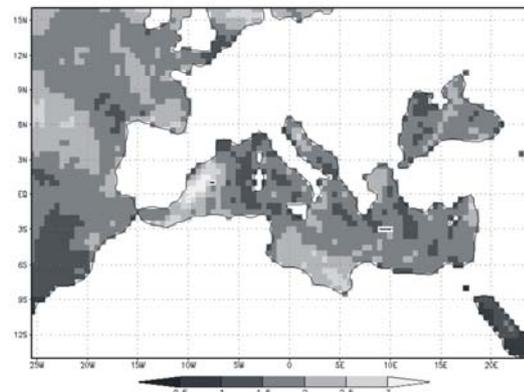
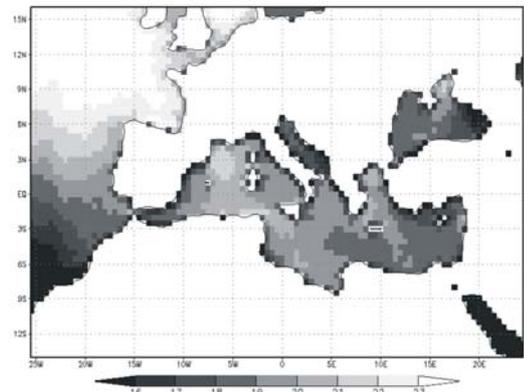


Figura 1. Media y desviación estándar de la velocidad máxima anual del viento para HIPOCAS (Paneles (a) y (b)). Idénticos estadísticos, pero esta vez obtenidos a partir de los datos de NCEP (Paneles (c) y (d))

Estas importantes diferencias en la distribución espacial de los valores medios y de la variabilidad de los datos de NCEP e HIPOCAS ilustran lo distinta que puede ser la caracterización de eventos de viento extremo realizada mediante un *hindcast* regional, con respecto a un reanálisis global. Teniendo en cuenta este distinto comportamiento, se ha decidido comprobar en qué medida varían los percentiles de extremos de viento estimados a partir de ambas bases de datos. Para ello, se ha estimado, por medio del ajuste de los máximos anuales de viento de HIPOCAS y NCEP a la distribución Gumbel, los cuantiles anteriormente mencionados para un periodo de retorno de 100 años.

En cuanto a los resultados procedentes de los datos HIPOCAS (Figura 2(a)), se puede destacar la presencia de cuatro núcleos principales de velocidad máxima, localizados al sur del golfo de León, en el golfo de Sidra, en el norte del Egeo y en la costa de Siria, con niveles de velocidad de viento que llegan a los 30 m s^{-1} en el golfo de León. Se observan asimismo otros máximos locales alrededor del estrecho de Gibraltar, en el norte del Adriático y en el mar de Azov.

Las velocidades de viento para periodos de retorno de 100 años, obtenidas a partir de los datos de NCEP, muestran un patrón espacial de máximos mucho menos definido, no apreciándose la distribución de las zonas presente en el caso de HIPOCAS. El caso del periodo de retorno de 100 años para NCEP (Figura 2(b)) está marcado por la existencia de una única región que cubre todo el Mediterráneo occidental, con valores máximos del orden de 26 ms^{-1} en una zona comprendida entre Córcega y Sicilia y una franja hacia las islas Baleares, por tanto menores y generalmente no coincidentes con el resultado de HIPOCAS. Asimismo, en algunas áreas (p. ej. Estrecho de Gibraltar, Norte del Mar Egeo) los reanálisis globales producen una notable infraestimación de los niveles de retorno en comparación con los obtenidos a partir de HIPOCAS, alcanzándose diferencias en las velocidades de viento con periodo de retorno de 100 años de hasta 12 ms^{-1} entre ambas bases de datos (Figura 2(c)).

Según los resultados obtenidos, la variabilidad, más que la media de la muestra, aparece como un factor determinante en la configuración de los patrones estimados de vientos extremos con un determinado periodo de retorno. De hecho, se aprecia que las principales características en cuanto a la distribución espacial de los patrones de periodos de retorno de 100 años son coincidentes en su mayoría con áreas de elevada desviación típica (destacable especialmente en HIPOCAS y no tanto en NCEP) y no tanto con la existencia de zonas de valor medio alto.

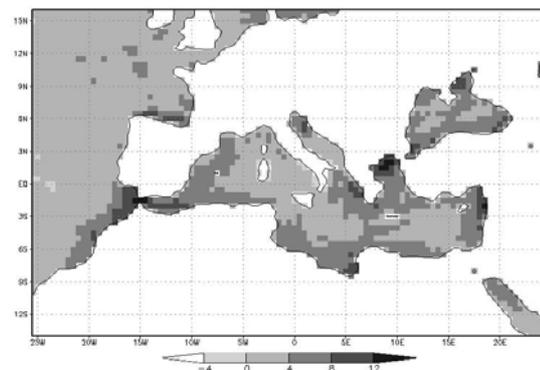
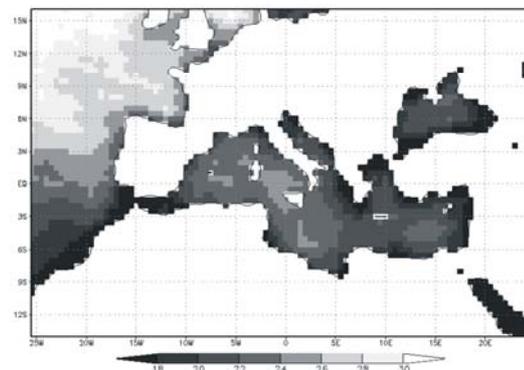
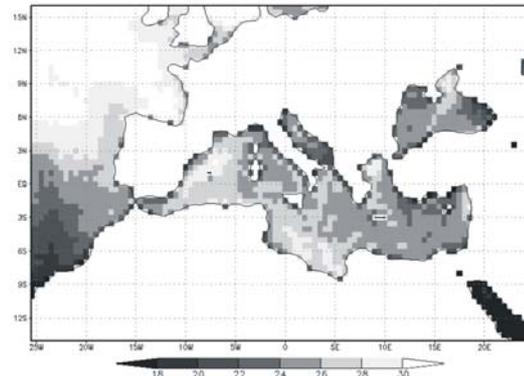


Figura 2. (a) Velocidad de viento a 10-m estimada para un periodo de retorno de 100 años a partir de los datos HIPOCAS, (b) a partir de los datos NCEP y (c) diferencias entre los campos anteriores.

Análisis de vientos extremos desde una nueva perspectiva regional.

Uno de los inconvenientes del análisis estadístico anterior reside en el escaso número de datos disponibles en cada muestra, que se restringe a tan sólo 44 valores anuales correspondientes al periodo comprendido entre 1958 y 2001. Esta escasez de datos se traduce en un aumento de la influencia ejercida por los valores anómalos sobre la cola de la distribución de probabilidad, con el consiguiente incremento del sesgo en la estimación de los

extremos de velocidad del viento.

Con el fin de contrarrestar este efecto, se ha aplicado una segunda metodología inspirada en la teoría estadística presentada por Hosking y Wallis (1997) y basada en un análisis de frecuencia regional mediante el uso de los estimadores estadísticos denominados L-momentos. Dicho método permite estimar con mayor precisión la cola de la función de distribución de probabilidad, al emplearse datos de distintos puntos geográficos, pertenecientes a una misma región homogénea previamente seleccionada, en lugar de datos de un único punto de malla o estación. La ventaja de este método radica, por un lado, en el uso de información procedente de distintos puntos en lugar de una única fuente de datos, y por otro lado, en la utilización de los L-momentos, que se caracterizan por su robustez frente a valores anómalos. Los L-momentos se definen como esperanzas de combinaciones lineales de los datos de una muestra y posibilitan la estimación de media, variabilidad, curtosis y simetría.

El análisis de frecuencia regional se ha aplicado a siete regiones marítimas, la primera de ellas situada sobre el Atlántico y las seis restantes sobre el Mediterráneo. Las zonas mediterráneas han sido seleccionadas por la presencia de regimenes de vientos regionales intensos, conocidos y ligados principalmente a factores orográficos, permitiendo cubrir, de esta manera, las principales áreas de fuertes vientos en el Mediterráneo. La región atlántica ha sido escogida con el fin de comprobar la metodología en áreas extensas sometidas a bajo impacto orográfico.

El proceso de selección de regiones se completó con un análisis de las diferentes muestras pertenecientes a cada estación de la región en busca de posibles valores discordantes. Esto se ha llevado a cabo calculando lo alejado que se encuentran los L-momentos de una muestra de la región respecto al L-momento medio de la región, que sirve como referencia. Tras eliminar los posibles valores discordantes, se ha estudiado la homogeneidad regional, comprobando para ello, si las variaciones entre los L-momentos, obtenidos a partir de la muestra de cada punto regional, son consistentes con lo esperado dentro de una región homogénea. Finalmente, se ha calculado el L-momento regional para cada zona y, a partir de esos datos, se ha ajustado una distribución Gumbel a cada conjunto regional de datos, con el objetivo de estimar los cuantiles para periodos de retorno de 100 años. Comparando los resultados de la metodología estándar con la del análisis de frecuencia regional, se aprecian diferencias notables en la distribución espacial de los vientos extremos para periodos de retorno de 100 años (Figura 3). El patrón espacial de las estimaciones de viento para la región atlántica se caracteriza por la presencia de un claro gradiente latitudinal de velocidad del viento, mientras que las regiones mediterráneas presentan patrones

ligeramente modificados. Esto puede interpretarse como una redistribución geográfica de las áreas de viento máximo dentro de cada región escogida, realizada por el análisis de frecuencia regional. En algunas zonas, como por ejemplo la centrada sobre el Mar de Alborán y el norte del Egeo, se observa de manera general una estimación mayor de viento con el método regional que con el puntual.

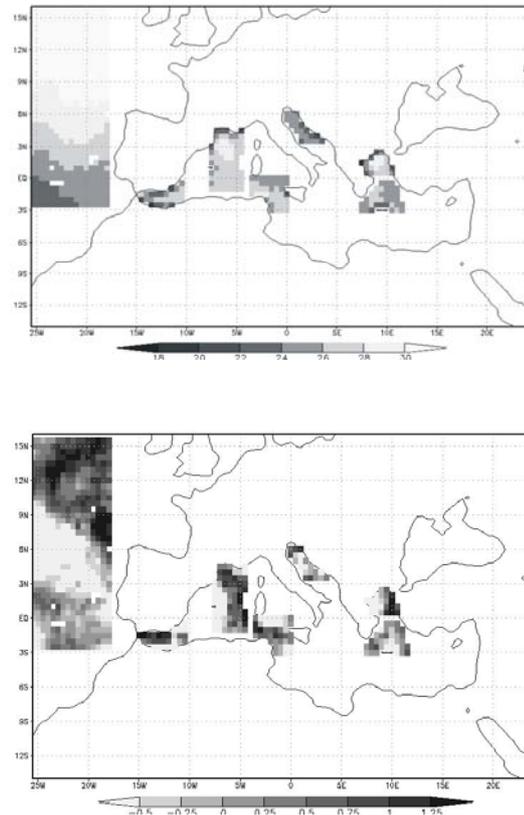


Figura 3. (a) Velocidad del viento estimada para un periodo de retorno de 100 años sobre 7 regiones distintas a partir de los datos HIPOCAS – (b) Diferencias entre el viento estimado para un periodo de retorno de 100 años, por medio del método estándar y del análisis de frecuencia regional.

Conclusiones

Diversos trabajos anteriores han permitido validar la base de datos mediterránea HIPOCAS, probando que dicha base de datos reproduce los episodios de viento extremo de manera más realista que el reanálisis global de NCEP. El presente trabajo es una continuación de dicha línea de investigación y presenta los resultados de análisis estadísticos de extremos de viento en áreas marítimas mediterráneas, aplicados sobre ambas bases de datos mediante dos métodos distintos. La primera metodología ha permitido obtener valores de la velocidad del viento para determinados periodos de retorno, mediante el ajuste a una distribución Gumbel de los máximos anuales de viento en cada punto de malla, tanto para la base de datos

HIPOCAS como para la de reanálisis de NCEP. Por otro lado, se ha aplicado un método estadístico alternativo, basado en el análisis de frecuencia regional mediante L-momentos, a siete regiones de la base de datos de HIPOCAS caracterizadas por vientos regionales dominantes, con el fin de contrarrestar el inconveniente que supone disponer de muestras cortas en cada punto de malla y, de este modo, poder estimar más eficientemente la cola de la distribución de probabilidad. La estimación de áreas marítimas mediterráneas con fuertes vientos ha podido mejorarse con los análisis estadísticos realizados, lo que permite por tanto mejorar la evaluación de los recursos eólicos disponibles en aguas del Mediterráneo.

Referencias

- Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R.: Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Kalnay, E., and co-authors: The NCEP/NCAR 40-years Reanalysis, Project. Bull. Amer. Meteorol. Soc. **77**: 437-471, 1996.
- Sotillo, M.G., Ratsimandresy, A.W., Álvarez E.: Improvement of Mediterranean extreme wind characterization by means of dynamical downscaling: Proceeding of 5th Plinius Conference on Mediterranean Storms. 2003.
- Sotillo, M.G., Ratsimandresy, A.W., Carretero J.C., Bentamy, A., Valero, F., González-Rouco, J.F.: A high-resolution 44-year atmospheric hindcast for the Mediterranean Basin: Contribution to the regional improvement of global reanalysis. Clim Dyn. 25:219-236, 2005.