

8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA

Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007

MODELADO CLIMÁTICO A ESCALA REGIONAL PARA EVALUAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR¹

Yagüe C.*, Sánchez E.º

*Dpto. Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España, ºDpto. Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo, España

*e-mail: carlos@fis.ucm.es

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunos resultados de simulaciones de escenarios de clima futuro realizadas en Europa con modelos a escala regional aplicados para evaluar el impacto potencial sobre la generación de energía eólica y solar. Para ello, se ha simulado el clima futuro en el periodo 2071-2100, y se han comparado variables meteorológicas de interés, para el aprovechamiento de las energías eólica y solar, con sus valores en el clima presente (1961-1990). Ello nos permitirá evaluar el impacto que el cambio climático puede producir sobre el aprovechamiento de estas energías renovables. El objetivo es mostrar la utilidad de estos modelos climáticos como herramienta muy útil en la toma de decisiones sobre expectativas del potencial de las mencionadas energías renovables a largo plazo.

PALABRAS CLAVE: modelos climáticos, cambios climáticos, energía eólica, energía solar.

¹ Artículo 236

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la preocupación de muchos gobiernos por cumplir el protocolo de Kioto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, han favorecido en muchos países una legislación propicia a las energías renovables. Esto ocurrió en España hace algunos años con la energía eólica y actualmente sucede con la energía solar. España es la segunda potencia mundial en energía eólica (11615 MW) después de Alemania, y el plan de Energías Renovables (2005-2010) tiene como objetivo que el 12% de la energía consumida en España provenga de energías limpias. Por lo que respecta a la energía solar, España es el segundo productor de Europa (57,6 MW) con un crecimiento en el último año del 130%. Ambas son las energías en mayor expansión dentro de las renovables y ambas dependen en gran medida, no sólo del desarrollo tecnológico, sino también de unas condiciones meteorológicas favorables: el viento para el caso de la energía eólica y la radiación solar recibida en superficie para la energía solar.

Dado el auge que alcanzarán estas energías en el futuro, es de gran interés analizar las previsiones que los modelos climáticos proporcionan sobre variables de importancia, directamente relacionadas con las energías solar y eólica. Los modelos climáticos se han convertido en los últimos años en la herramienta esencial para estudiar el clima futuro [1], especialmente los modelos regionales de clima (RCMs) [2,3] que proporcionan mayor detalle que los modelos globales (GCMs) sobre una zona determinada. El desarrollo de los modelos de clima a escala regional ha sido reciente, ya que están condicionados a la capacidad de cálculo de los ordenadores, que se ha multiplicado por 1 millón desde 1970 hasta la actualidad [4], lo cual ha permitido incorporar mayor número de procesos que tienen lugar en el sistema climático, así como aumentar la resolución de los modelos, disminuyendo las distancias entre los puntos de rejilla donde se calculan las variables de interés. Este aumento progresivo en la capacidad de cálculo llevará en un futuro no muy lejano, a la existencia de modelos globales capaces de resolver la dinámica de las nubes convectivas [1]. Actualmente los RCMs pueden realizar predicciones precisas sobre potenciales cambios en fenómenos extremos producidos por el incremento de los gases de efecto invernadero [5]. Una de las parametrizaciones importantes, dentro de los modelos climáticos, corresponde a la capa límite atmosférica (PBL), que es aquella zona de la baja atmósfera directamente influenciada por la rugosidad y los efectos térmicos que tienen lugar en la superficie. Esta zona es especialmente importante para la estimación del viento necesario en relación con el potencial eólico de una zona. Si bien los efectos del cambio climático se centran especialmente en variables como la temperatura superficial o la precipitación, la descripción de los cambios que tienen lugar en la baja atmósfera son igualmente importantes [6]. Aunque los procesos de interés en la PBL tienen escalas físicas mucho menores que las escalas climáticas, son cruciales en el transporte de calor, momento y humedad desde la superficie a la atmósfera libre [7].

MODELOS CLIMÁTICOS

Los modelos climáticos globales incluyen alguna representación de los cinco componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera), de los procesos que se producen en cada uno de ellos y de los que determinan los intercambios mutuos. A los modelos en los que la atmósfera y el océano interactúan de forma acoplada se les conoce con las siglas AOGCM (*Atmosphere-Ocean General Circulation Model*), que se basan en la resolución de una serie de ecuaciones matemáticas que expresan las leyes de la Física que gobiernan la dinámica y termodinámica de la atmósfera y del océano. La resolución espacial de la parte atmosférica varía entre 2° y 10° de latitud y longitud en la horizontal, y se consideran de 10 a 30 capas de espesor variable en la vertical entre la superficie y la cima de la atmósfera [8]. Para comprobar la fiabilidad de estos modelos se comparan sus simulaciones de clima actual con observaciones realizadas. Los resultados de estas comparaciones han mejorado espectacularmente en los últimos años. Sin embargo, no siempre las particularidades regionales son recogidas por los modelos globales, especialmente para la precipitación. Esto se debe a la insuficiente resolución espacial de estos modelos y al uso de representaciones físicas no adaptadas a la escala regional. En este contexto surgen los modelos regionales de clima, que proporcionan resultados con una resolución espacial de entre 50 y 20 km en la horizontal, y son capaces de describir mecanismos climáticos a escala regional, por lo que se consideran herramientas esenciales para el estudio del clima futuro.

El modelo regional usado en este estudio es la versión climática del modelo PROMES [9]. Se trata de un modelo de ecuaciones primitivas, hidrostático y compresible. En la vertical hay 28 niveles (se utiliza la coordenada vertical sigma), de los cuales los 8 primeros se encuentran por debajo de 1000m. La resolución horizontal es de 50x50 km² y el dominio cubre gran parte de Europa. El modelo regional está forzado en sus fronteras exteriores por el modelo global HadAM3-GCM [10], cuyas simulaciones climáticas concuerdan bastante bien con los datos del Reanálisis del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ERA40) para el campo sinóptico de presión a nivel del mar [11]. Las simulaciones que presentamos cubren dos periodos: el clima presente (1961-1990) también llamado control o CT, y el clima futuro (2071-2100) basado en el escenario A2-SRES del Panel Intergubernamental del Cambio Climático

(IPCC) [12], asociado con grandes incrementos de los gases de efecto invernadero (en adelante nos referiremos a él como A2). Las condiciones de vegetación superficial son idénticas en ambas simulaciones.

RESULTADOS

En este apartado vamos a mostrar los resultados más sobresalientes que se han obtenido sobre clima futuro en Europa, especialmente de aquellas variables cuyo cambio tendría más repercusión para el aprovechamiento de la energía eólica y solar. La Fig. 1 muestra la temperatura a 2m para el clima presente (CT) y el cambio producido en el clima futuro (A2-CT) para las cuatro estaciones del año.

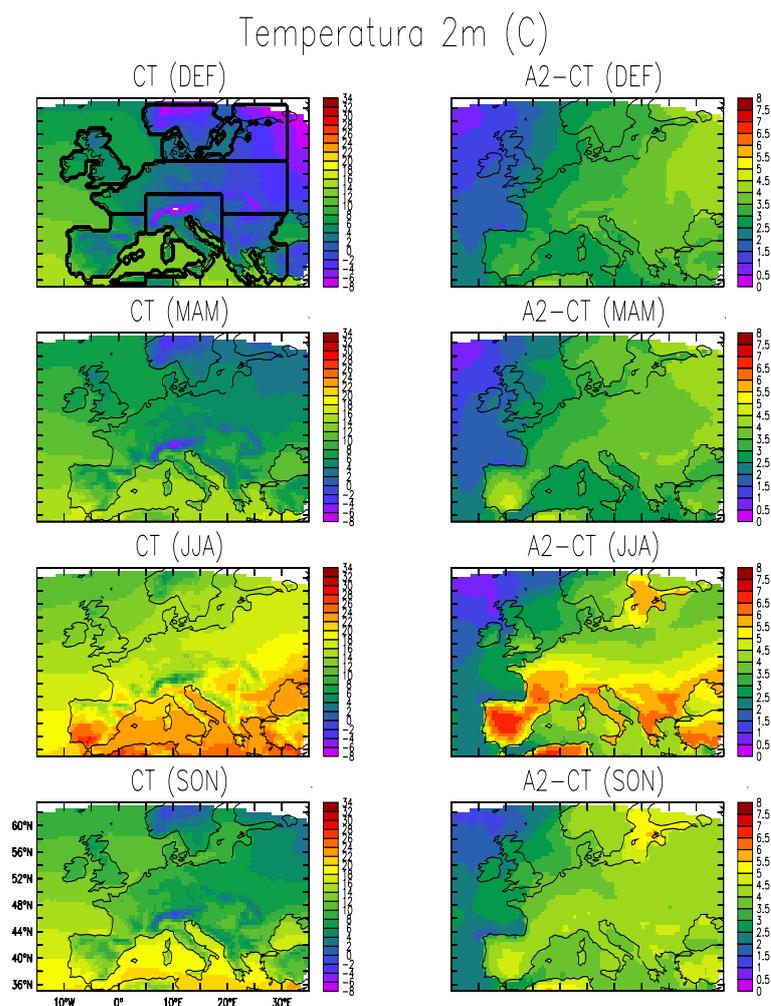


Fig. 1: Mapas estacionales de temperatura a 2 m. De arriba abajo, promedios de 30 años para los 3 meses del invierno (Diciembre, Enero y Febrero –DEF-), primavera (Marzo, Abril y Mayo –MAM-), verano (Junio, Julio y Agosto –JJA-) y otoño (septiembre, octubre y noviembre –SON-). Los resultados del clima presente se muestran en la columna de la izquierda, y el cambio climático producido (A2-CT) en la columna de la derecha. En el mapa de arriba a la izquierda se indican las 6 regiones que se han usado para los promedios regionales mostrados en otras figuras posteriores.

Como se puede apreciar, las simulaciones registran un aumento de temperatura en todo el dominio y para todas las estaciones del año, aunque los mayores aumentos de temperatura se registran en verano en la mitad sur de Europa y área del Mediterráneo, donde los incrementos de temperatura medios pueden alcanzar hasta los 6 °C en el interior de la Península Ibérica. La simulación del clima presente recoge de modo bastante detallado las diferentes temperaturas

medias alcanzadas en las distintas regiones de Europa, así como las características propias de las zonas de alta montaña, como es el caso de los Alpes o incluso los Pirineos.

Una de las variables básicas en la circulación general de la atmósfera es la presión a nivel de la superficie terrestre. En la Fig. 2 se muestra esta variable para el clima presente y las modificaciones simuladas para el clima futuro.

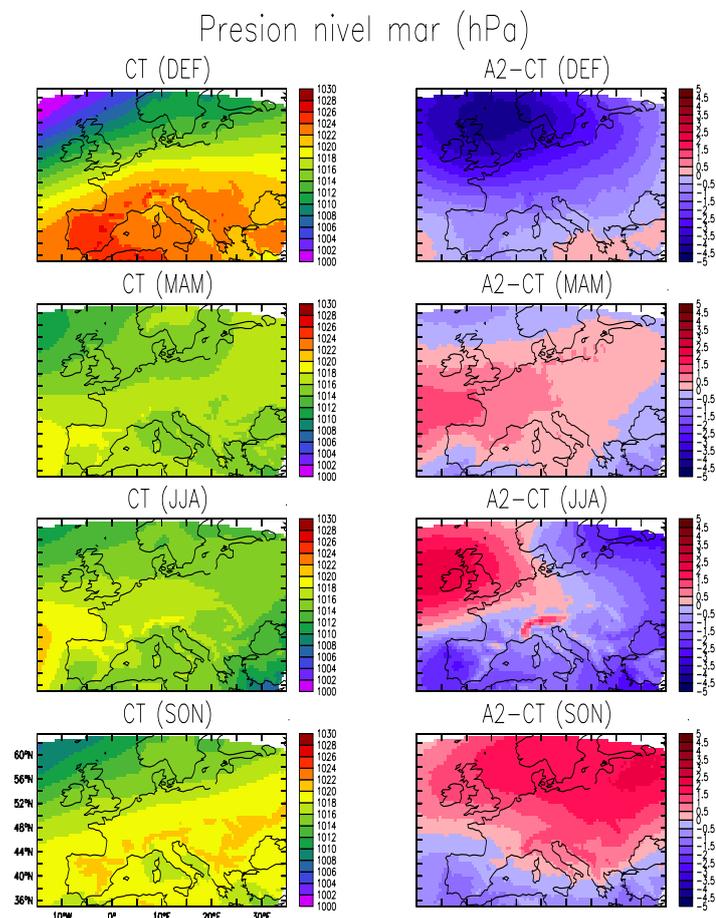


Fig. 2: Mapas estacionales de presión al nivel de la superficie (hPa). Las indicaciones son las mismas que en la Fig.1.

Lo más destacable en la presión superficial son los diferentes cambios previstos en la circulación general para las distintas estaciones y regiones. Las depresiones del Atlántico serían más profundas en invierno, mientras que en el verano la presión media en la zona NW del dominio sería mayor que la actual, previéndose un régimen más extremo entre verano e invierno en esta zona, comparado con la actualidad. La disminución de presión en el verano, especialmente en la zona SW podría explicarse por la intensificación de bajas térmicas [13] que se producirían como consecuencia del mayor calentamiento superficial.

En cuanto a la repercusión del cambio climático en el aprovechamiento de la energía solar, creemos que la variable fundamental a analizar es la radiación solar recibida en la superficie terrestre, que en buena medida va a estar influenciada por los cambios que se registren en la nubosidad. La Fig. 3 muestra los valores simulados para clima presente y los cambios para clima futuro de la radiación solar (izquierda) y nubosidad (derecha). El clima presente muestra las grandes diferencias de radiación solar recibida entre el norte y el sur de Europa, con valores invernales en el N en torno a 20 Wm^{-2} frente a las 125 Wm^{-2} en el S, y en el verano de 100 Wm^{-2} en el N frente a 325 Wm^{-2} en el S. Esto indica que evidentemente hay zonas cuyas características climatológicas las hacen más adecuadas para el uso de la energía solar. Comparando ambas variables (radiación solar recibida y nubosidad) queda de manifiesto la alta correlación entre ambas, produciéndose descensos de la radiación solar en aquellas zonas donde la nubosidad se espera que aumente. Salvo en invierno, donde se prevé un ligero aumento de la nubosidad en la mitad norte de Europa, se espera una disminución generalizada de la nubosidad, lo que daría lugar a aumentos considerables en la radiación solar recibida en la superficie terrestre, por lo que el aprovechamiento solar sería mucho mayor en las últimas décadas del siglo XXI que actualmente.

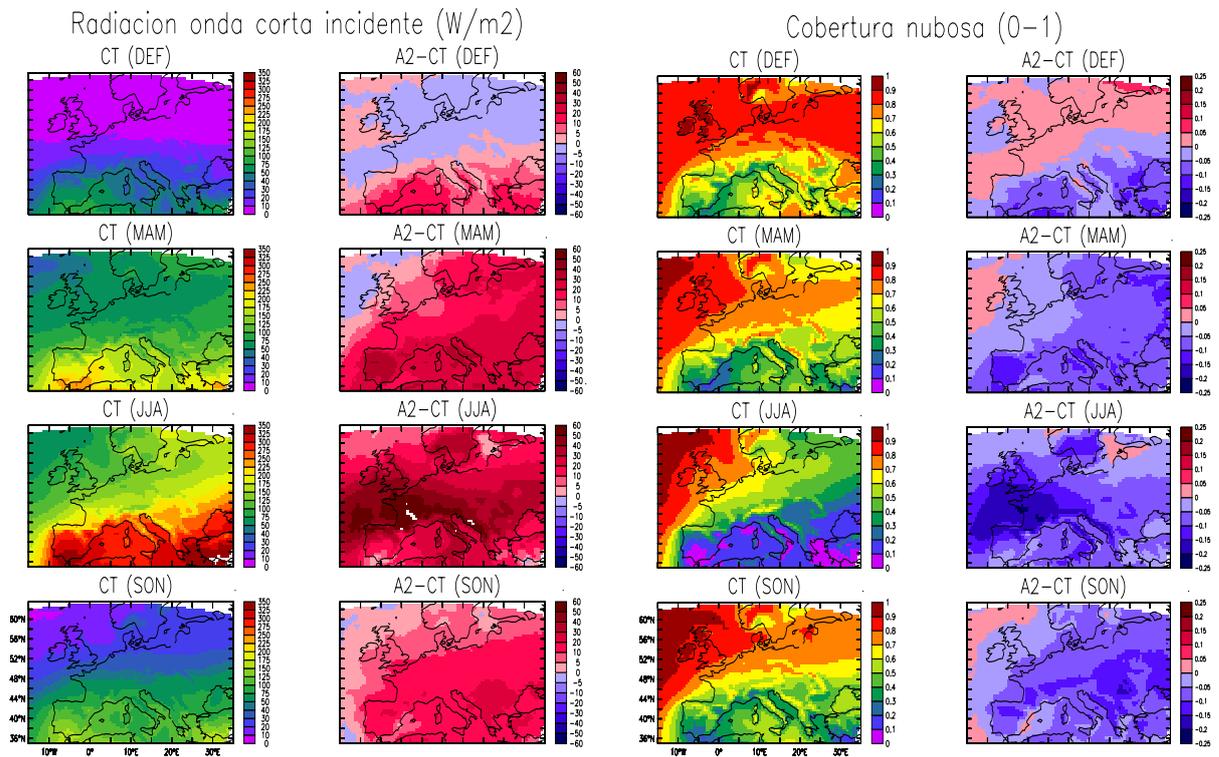


Fig. 3: Mapas estacionales de Radiación Solar incidente en superficie (izquierda) y de nubosidad (derecha; 1 significa cielos cubiertos y 0 cielos despejados). Las indicaciones son las mismas que en la Fig.1.

En la Fig. 4 se muestra el viento a 10m, tal y como se simula para el clima actual, así como los cambios producidos al aumentar los gases de efecto invernadero de manera clara. Al contrario que la radiación solar recibida en la superficie, en el caso del viento no se obtienen resultados concluyentes. Las simulaciones de clima actual muestran claramente las zonas y estaciones del año donde el aprovechamiento eólico es mayor: NW y en invierno, siendo especialmente interesantes los emplazamientos que se pudieran desarrollar en zonas marítimas. En cuanto a los cambios esperados para el clima futuro, cabe destacar el aumento en la intensidad del viento en invierno en la zona NW, así como en verano en la zona más oriental de Europa y en el SW, destacando zonas como Galicia en el noroeste de España, donde ya para el 2010 se espera que sea la zona de mayor producción de electricidad en España con 3400 MW.

Para poder analizar con más detalle el ciclo anual, tanto de la nubosidad-radiación solar (energía solar) como del viento a 10m (energía eólica), para las distintas regiones de Europa, en las Figuras 5 y 6 se muestran los valores promediados mensualmente para los 30 años que componen las series de clima presente y futuro, para las 6 regiones que se indicaban en el mapa superior izquierdo de la Fig.1.

Se ve claramente como la nubosidad sufre un descenso generalizado para todas las zonas y todos los meses del año (Fig. 5) excluyendo algunos meses invernales del norte y centro de Europa, y como la radiación solar en superficie se incrementa en todas las regiones, de manera especial para los meses de verano.

En cambio, el viento a 10m no muestra un comportamiento definido (Fig. 6) en las 6 regiones analizadas, con ligeros aumentos en los meses de verano, en la parte oriental y central de Europa, y un aumento en el Norte y Centro de Europa en los meses de invierno e incluso extendiéndose a la primavera en NW y centro de Europa. No obstante, considerando que el último informe del IPCC [1] señala que la confianza en estos futuros cambios es limitada, podemos indicar que los obtenidos con el PROMES pudieran no ser significativos.

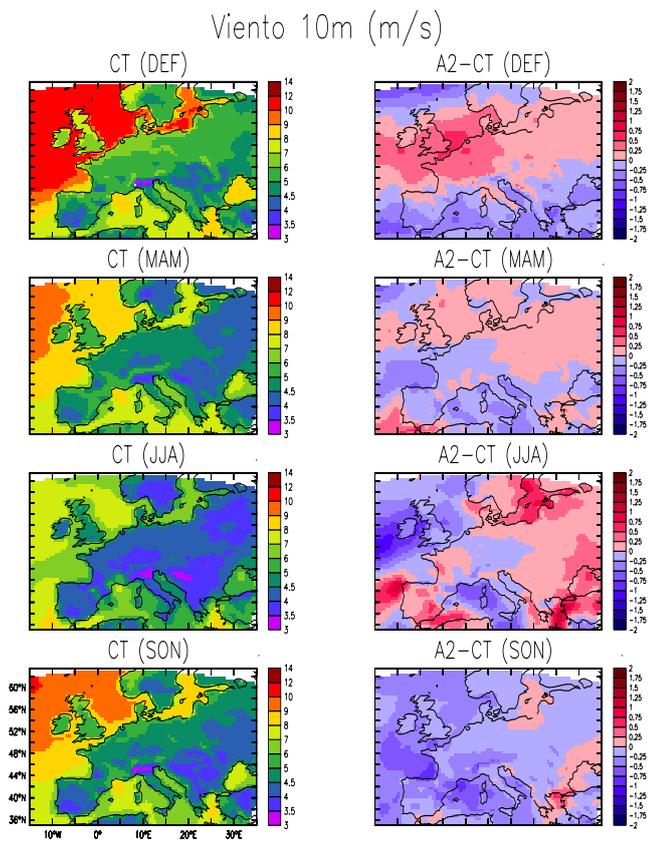


Fig. 4: Mapas estacionales viento a 10m (m s^{-1}). Las indicaciones son las mismas que en la Fig.1.

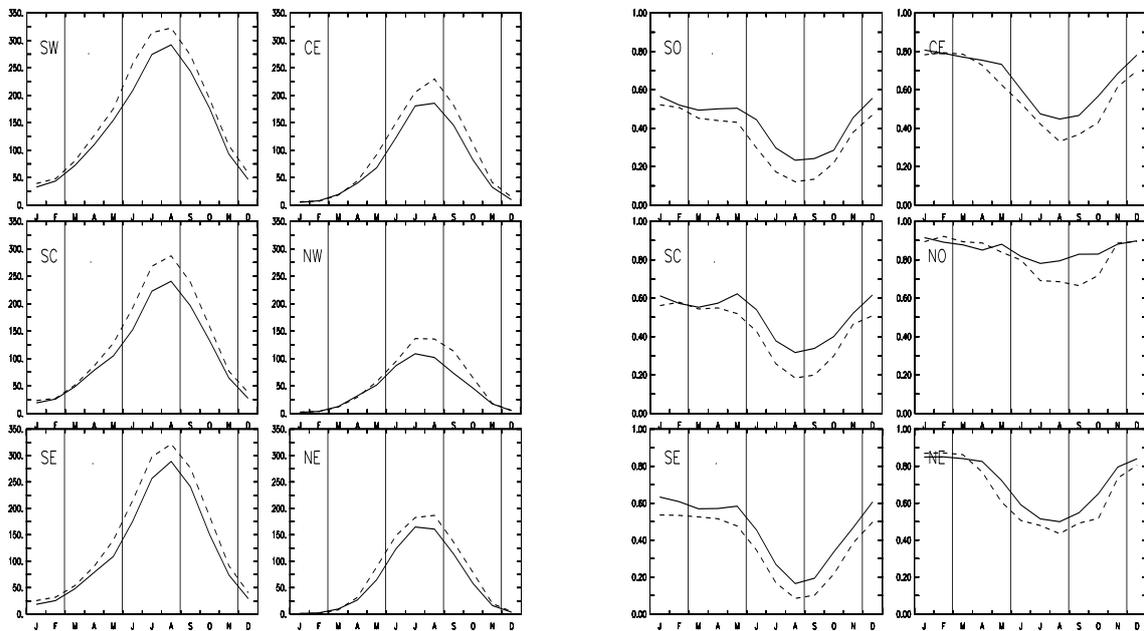


Fig. 5: Climatologías para las 6 zonas seleccionadas (ver Fig. 1) de las series mensuales (promedios de 30 años desde enero a diciembre) de la radiación solar recibida en superficie (izquierda) y de la nubosidad (derecha). Las unidades de la radiación solar son Wm^{-2} y la nubosidad varía desde 0 (completamente despejado) a 1 (completamente cubierto). La línea continua indica clima actual y la discontinua clima futuro.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos realizado simulaciones de clima futuro para analizar el impacto que el cambio climático pudiera tener en el aprovechamiento de dos de las energías renovables fundamentales: solar y eólica. Los resultados más relevantes se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- El clima futuro prevé un aumento generalizado de las temperaturas en todas las regiones europeas y en todas las estaciones del año. En algunos puntos, como la Península Ibérica el aumento podría llegar a los 6 °C. Asimismo el régimen de presión superficial ofrece cambios importantes, que afectarían sin duda a la circulación general atmosférica sobre Europa.
- La radiación solar recibida en la superficie terrestre aumentaría en todas las regiones y todas las estaciones, salvo en el invierno del norte de Europa, en clara correlación con una disminución generalizada de la nubosidad. Todo ello redundaría en un mayor aprovechamiento de las instalaciones solares.
- El viento no muestra una tendencia clara para el clima futuro, aunque si se aprecian aumentos en zonas marítimas de interés y en zonas costeras (Galicia), donde actualmente hay un gran desarrollo de la energía eólica.

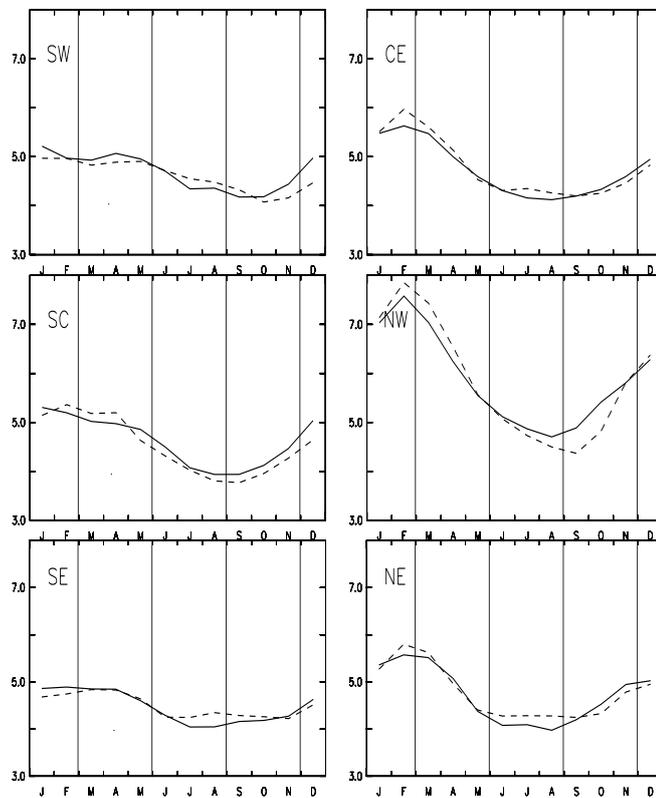


Fig. 6: Climatologías para las 6 zonas seleccionadas (ver Fig. 1) de las series mensuales (promedios de 30 años desde enero a diciembre) del viento a 10m ($m s^{-1}$). La línea continua indica clima actual y la discontinua clima futuro.

AGRADECIMIENTOS

El Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) Español a través del proyecto AMAVEC (REN2003-00411) y las facilidades de investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha (proyecto 001110162, 2006) han financiado el trabajo de E. Sánchez. Este trabajo ha sido además parcialmente financiado por los proyectos del MEC CGL2004-3109 y CGL2006-12474-C03-03.

REFERENCIAS

1. Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Cheng, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinde, A. Sarr and P. Whetton., Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007
2. Christensen, J.H., T. Carter and F. Giorgi, *PRUDENCE employs new methods to assess European climate change*, *Eos Trans. AGU*, 83, 147. 2002
3. Giorgi, F., X. Bi and J. Pal, *Mean interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II. Climate change scenario (2071-2100)*, *Clim. Dyn.*, 23, 839-858. 2004.
4. H. Le Treut, R. Somerville, U. Cubash, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, Historical Overview of Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
5. Sánchez, E., C. Gallardo, M.A. Gaertner, A. Arribas and M. Castro, *Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: A first approach*, *Global Planet. Change*, 44, 163-180. 2004.
6. Sánchez, E., C. Yagüe and M.A. Gaertner, *Planetary boundary layer energetics simulated from a regional climate model over Europe for present climate and climate change conditions*, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L01709. 2007.
7. Garratt, J.R., *The Atmospheric Boundary Layer*, 316 pp, Cambridge University Press, New York. 1992.
8. Zurita, E., *Análisis estadístico del cambio climático. En: Mitos y realidades del cambio climático*, *Revista del Instituto de Estudios Económicos*, 3-4, 210-232. 2006.
9. Castro, M., C. Fernández and M.A. Gaertner, *Description of a mesoscale atmospheric numerical model. In: Mathematics, Climate and Environment*, J.I. Díaz and J.L. Lions (eds.), Masson, Paris, 230-253. 1993.
10. Pope, V., M. Gallani, P. Rowntree and R. Stratton, *The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3*, *Clim. Dyn.*, 16, 123-146. 2000.
11. Van del Ulden, A.P., and G.J. van Oldenborgh, *Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for climate change in central Europe*, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 863-881. 2006.
12. IPCC, *Climate Change 2001: The scientific bases. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp. 2001.
13. Hoinka, K.-P. and M. Castro, *The Iberian Peninsula Thermal Low*, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 129, 1491-1511. 2003