

# PROYECCIONES A MEDIO PLAZO DE CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LOS RECURSOS SOLAR Y EÓLICO SOBRE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Sonia JEREZ, Jose María LÓPEZ ROMERO, Pedro JIMÉNEZ GUERRERO, Raquel LORENTE PLAZAS, Juan Pedro MONTÁVEZ  
*Grupo de Modelización Atmosférica Regional (MAR), Departamento de Física, Universidad de*

*Murcia*

sonia.jerez@um.es, jm.lopezromero@um.es, pedro.jimenezguerrero@um.es, lorente.plazas@gmail.com, montavez@um.es

## RESUMEN

Las energías renovables son parte fundamental de las estrategias de mitigación del cambio climático, pero también un sector potencialmente afectado por este último. La Península Ibérica (PI) presenta también esta doble faceta: un gran potencial para el desarrollo, en particular, de parques solares y eólicos y una alta vulnerabilidad al cambio climático. En este contexto, el objetivo de este trabajo es investigar los cambios proyectados a medio plazo, y las incertidumbres asociadas, en los campos de viento y de radiación solar superficiales. Para ello se ha analizado un conjunto multi-modelo y multi-escenario de proyecciones de cambio climático sobre la PI con un total de 26 proyecciones distintas que fueron obtenidas de los proyectos ESCENA y Euro-CORDEX. Los resultados individuales muestran variaciones máximas del orden del 20-30% para mediados de siglo en ambos recursos, solar y eólico, si bien existe una gran discrepancia entre las distintas proyecciones no solo en cuanto a las áreas más afectadas sino también en cuanto a la intensidad y al signo del cambio proyectado, incluso bajo el mismo escenario de futuro. Por ello, la media de los cambios proyectados se mantiene en general en el rango [-5%,+5%] y tiene asociada una importante incertidumbre.

**Palabras clave:** cambio climático, energía solar, energía eólica, incertidumbres, Península Ibérica, ESCENA, Euro-Cordex, modelos climáticos regionales

## ABSTRACT

Renewable energies are an important part of the mitigation strategies aimed at abating climate change, but simultaneously they are one of the sectors threatened by this latter. The Iberian Peninsula (IP) shows also a similar twofold: a great potential for the development of solar plants and wind farms, in particular, and a high vulnerability to climate change effects. In such a context, the objective of this work is to investigate medium-term projected changes, and associated uncertainties, in the surface wind and solar radiation fields. In order to do that, a multi-model and multi-scenario ensemble of climate change projections for the IP, including a total of 26 different projections that have been retrieved from the ESCENA and Euro-CORDEX projects, has been analyzed. The individual results show maximum variations of 20-30% for mid century in both resources, solar and wind, although the disagreement among the various projections regards not only the most affected areas but also the intensity and sign of the projected change, even under the same future scenario. Thereby, the ensemble mean projected change remains overall in the range [-5%,+5%] and has associated an important uncertainty.

**Key words:** climate change, solar energy, wind power, uncertainties, Iberian Peninsula, ESCENA,

## Euro-CORDEX, regional climate models

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta hoy en día la humanidad, con implicaciones no sólo de carácter medioambiental sino también socio-económico (IPCC, 2013). Por ello, y ante las no muy halagüeñas perspectivas de futuro, se desarrollan estrategias de adaptación y mitigación. Las energías renovables son parte fundamental de estas últimas (IPCC, 2011), posicionándose como una de las mejores alternativas a los limitados recursos fósiles que además contribuye a la independencia energética de los países y promueve el empleo local (Moreno y López, 2008; Bhattacharyya, 2009; Apergis y Payne, 2010).

Sin embargo, las energías renovables, en particular la eólica y la solar, no sólo forman parte de la solución al problema del cambio climático, sino también, por su dependencia de las condiciones atmosféricas (Jerez *et al.*, 2013a), de los sectores potencialmente vulnerables al mismo (Pryor y Barthelmie, 2010; Hueging *et al.*, 2013). En este sentido, si bien la Península Ibérica (PI) muestra un gran potencial para la generación de energía eólica y solar (Ruiz-Arias *et al.*, 2012), también ha sido identificada como una de las zonas del planeta donde los efectos del cambio han sido y se prevé que sean más notables (Giorgi, 2006; IPCC, 2013). Por lo tanto, la pregunta, aún sin contestar, que se plantea es: ¿supone el cambio climático una amenaza para las medidas de desarrollo de instalaciones eólicas y solares en la PI?

Para estudiar impactos del cambio climático es necesario tener en cuenta las incertidumbres asociadas al proceso de obtención de las proyecciones de futuro. Éstas abarcan desde la elección del escenario de emisiones o de forzamiento radiativo futuro (Gómez-Navarro *et al.*, 2011), probablemente la fuente de incertidumbre más importante, hasta la elección del modelo de simulación climática (Déqué *et al.*, 2012) así como de su configuración tanto física como espacial (Jerez *et al.*, 2013b). Más aún, a la hora de realizar simulaciones de alta resolución utilizando Modelos Climáticos Regionales (RCMs), a las incertidumbres asociadas a la elección y configuración del RCM, hay que sumar las asociadas a la elección y configuración del Modelo de Circulación General (GCM) al que se anida el RCM.

En este trabajo se estudian los cambios proyectados en la PI de aquí a mediados de siglo para la radiación solar incidente y la velocidad del viento en superficie. Para ello se cuenta con un conjunto de 26 simulaciones proporcionadas por las recientes iniciativas ESCENA (<http://proyectoescena.uclm.es/wikiescena>) y Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>) realizadas bajo distintos escenarios de futuro y con distintos RCMs que a su vez han sido anidados a distintos GCMs. Esta extensa base de datos proporciona por tanto un marco único para el estudio de señales de cambio climático e incertidumbres.

## 2. DATOS

Los datos empleados en este trabajo (series temporales de radiación de onda corta incidente en superficie y velocidad del viento a 10 metros de altura) fueron obtenidos de simulaciones climáticas regionales que cubren al menos el periodo 2001-2050 y al menos la PI, y que han sido realizadas en el marco del proyecto nacional ESCENA (<http://proyectoescena.uclm.es/wikiescena>) y de la iniciativa internacional Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>). En la Tabla 1 se especifican los RCMs y GCMs utilizados en la realización de cada simulación, su resolución espacial, escenarios de futuro considerados y la institución que proporciona los datos (en total se han analizado 26 simulaciones diferentes). En ESCENA se utilizaron los escenarios de emisiones

(ordenados del menos al más pesimista) B1, A1B y A2 de SRES (IPCC, 2000), mientras que en Euro-CORDEX éstos fueron sustituidos por los más recientes escenarios de forzamiento radiativo RCP (Moss *et al.*, 2010), entre los que escogimos el moderado RCP4.5 y el pesimista RCP8.5 para este trabajo.

| Proyecto    | Resolución      | RCM      | GCM       | Escenarios                           | Institución                                  |
|-------------|-----------------|----------|-----------|--------------------------------------|--|
| ESCENA      | 25 km           | MM5      | ECHAM5r2  | A1B, B1, A2                          | Universidad de Murcia                        |
|             |                 | MM5      | CNCM3     | A1B, B1                              |  |
|             |                 | MM5      | HCM3Q3    | A1B                                  |  |
|             |                 | MM5      | HCM3Q16   | A1B                                  |  |
|             |                 | PROMES   | ECHAM5r2  | A1B, B1, A2                          | Universidad de Castilla La Mancha            |
|             |                 | PROMES   | CNCM3     | A1B, B1                              |  |
|             |                 | PROMES   | HCM3Q3    | A1B                                  |  |
|             |                 | PROMES   | HCM3Q16   | A1B                                  |  |
|             |                 | WRF      | ECHAM5r2  | A1B (×2 configuraciones físicas), A2 | Universidad de Cantabria                     |
| Euro CORDEX | 0.44° (~ 50 km) | CCLM     | MPI-ESM   | RCP4.5, RCP8.8                       | Universidad Tecnológica de Brandeburgo (BTU) |
|             |                 | HIRHAM5  | EC-EARTH  | RCP4.5, RCP8.5                       | Instituto Meteorológico de Dinamarca (DMI)   |
|             |                 | RACMO22E | EC-EARTH  | RCP4.5, RCP8.5                       | Instituto Meteorológico de Holanda (KNMI)    |
|             |                 | WRF      | IPSL-CM5A | RCP4.5, RCP8.5                       | Instituto Pierre Simon Laplace (LSCE)        |
|             |                 | RegCM    | CNRM-CM5  | RCP4.5                               | Universidad Charles de Praga (CUNI)          |

Tabla 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS SIMULACIONES UTILIZADAS EN ESTE TRABAJO: PROYECTO, RESOLUCIÓN ESPACIAL, RCM, GCM, ESCENARIOS E INSTITUCIÓN.

### 3. METODOLOGÍA

Las series de radiación y viento analizadas en este trabajo cubren el periodo 2001-2050 y contienen valores medios estacionales. El análisis se ha llevado a cabo para cada estación por separado. Por brevedad, se seleccionan los resultados obtenidos para invierno (DJF) y verano (JJA), ya que los resultados obtenidos para primavera y otoño presentan en general señales intermedias.

La metodología aplicada a las series de cada estación es la siguiente:

1º) Ajustamos por mínimos cuadrados las series estacionales de cada punto de la rejilla espacial a la

recta  $y=a+b\cdot t$ , donde  $y$  es la variable en cuestión y  $t$  el tiempo. El parámetro  $b$  indica por lo tanto la tendencia lineal de las series, cuya significancia estadística es evaluada mediante el test de Mann-Kendall.

2º) Atendiendo a ese valor de la tendencia, tendremos que en 50 años (la longitud del periodo de estudio) el cambio en la variable en cuestión vendrá dado por  $\Delta=N\cdot b$ , donde  $N$  es el número de pasos temporales de las series, en nuestro caso 50 valores estacionales por serie. Sólo se considerarán significativos aquellos valores de  $\Delta$  obtenidos a partir de un valor de  $b$  con una significancia estadística del al menos el 95%.

3º) Por último,  $\Delta$  se expresa en % con respecto al valor medio de la variable en el periodo de estudio:

$$\Delta_{\%} = \frac{\Delta}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i} \cdot 100$$

Los resultados de aplicar esta metodología a las series de invierno y de verano de cada variable obtenidas de cada una de las 26 simulaciones se muestran en las Figuras 1 y 2.

A partir de los resultados individuales de cada simulación, calculamos la media y la dispersión de las señales obtenidas para cada uno de los escenarios futuros considerados. La dispersión la calculamos como la máxima diferencia entre los miembros de cada conjunto de simulaciones y representa la incertidumbre asociada al cambio medio proyectado. Ambas magnitudes se muestran en la Figura 3.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Cambios proyectados para la radiación solar

Los cambios estadísticamente significativos proyectados para mediados de siglo en la radiación solar en superficie por cada una de las simulaciones, para invierno y verano, se muestran en la Figura 1. En invierno todas las señales de ESCENA son negativas, independientemente del escenario futuro, proyectando descensos de más del 20% en amplias regiones, si bien la localización de estas regiones varía entre las distintas simulaciones (Figura 1a). Sin embargo, algunas de las proyecciones de Euro-CORDEX para invierno muestran señales de cambio significativas positivas, sobre todo para el escenario RCP4.5 (Figura 1c). En verano, las señales significativas son mayoritariamente negativas en el subconjunto de simulaciones de ESCENA alimentadas por el GCM ECHAM5r2, pero positivas en el resto (Figura 1b,d). Cuantitativamente, los cambios proyectados en verano son menores que en invierno (raramente alcanzan el 15%).

Los resultados individuales de las simulaciones de ESCENA mostrados en la Figura 1a,b, indican que tanto el cambio de escenario como el cambio de GCM al que se anida el RCM tienen una influencia decisiva en las señales obtenidas (signo, intensidad y distribución espacial de las mismas), mientras que la influencia de utilizar un RCM u otro es mucho menor.

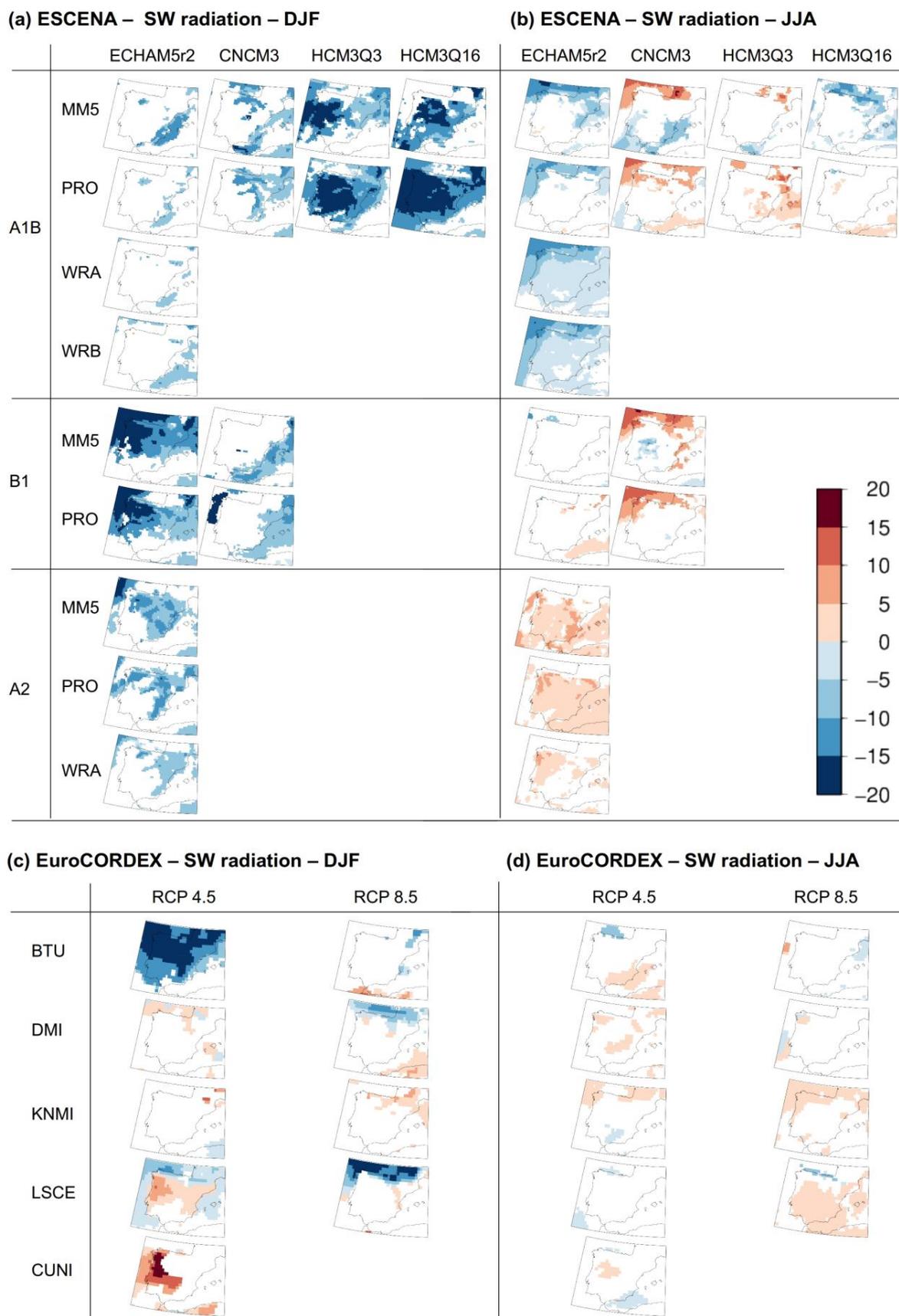


Fig. 1: Cambios estadísticamente significativos en la radiación solar incidente en superficie para mediados de siglo proyectados por cada experimento para invierno y verano (en %).

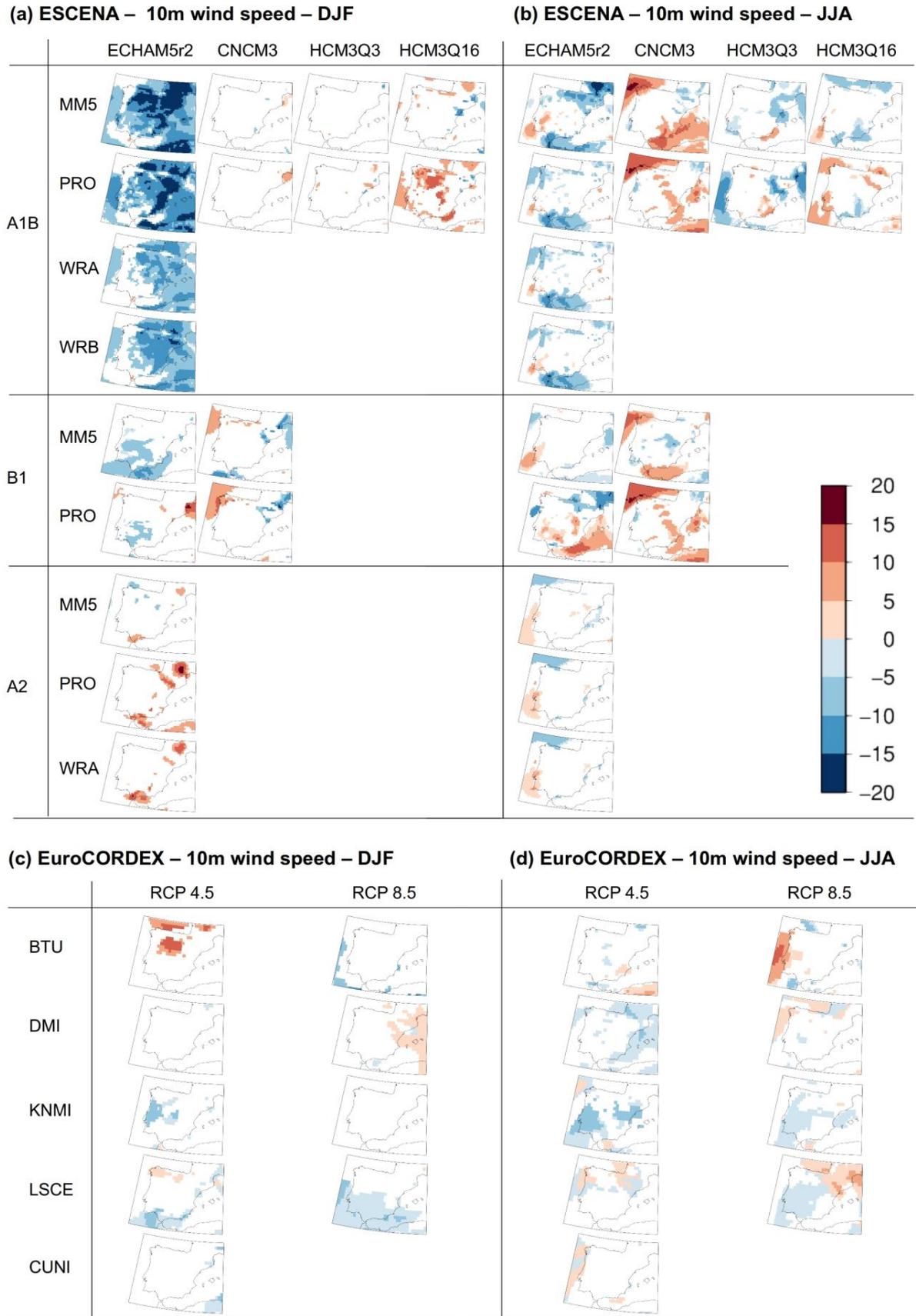


Fig. 2: Cambios estadísticamente significativos en la velocidad del viento a 10 metros de altura para mediados de siglo proyectados por cada experimento para invierno y verano (en %).

En la Figura 3 se presenta el valor medio de los cambios proyectados bajo cada escenario de futuro y la incertidumbre (dispersión) asociada. También se indica si existe discrepancia en el signo de los cambios que se proyectan significativos entre las distintas simulaciones (con puntos negros) y si sólo menos de la mitad de las señales individuales de cada conjunto de simulaciones son significativas estadísticamente (con cruces). En verano los cambios medios proyectados son inferiores al 5%, tienen asociada una baja incertidumbre (dispersión máxima del 10%) y aunque hay proyecciones significativas de signo contrario (en particular bajo el escenario A1B), la mayoría de las simulaciones proyecta cambios no significativos (salvo para el escenario A2). En invierno, tanto el cambio medio proyectado como la incertidumbre asociada son mayores (hasta del 15% y por encima del 30% respectivamente). Por lo tanto, y a pesar de que la proporción de señales no significativas es también elevada (excepto en el este peninsular para todos los escenarios de SRES), no parece cauto extraer conclusiones categóricas más allá de que las proyecciones individuales están por debajo del 30% con un predominio de señales negativas, en particular bajo los escenarios de SRES.

#### 4.2. Cambios proyectados para la velocidad del viento

La Figura 2 es análoga a la Figuras 1, mostrando en este caso los cambios proyectados en la velocidad del viento a 10 metros de altura. De nuevo observamos un alto grado de incertidumbre en los cambios proyectados (fundamentalmente debido al cambio de GCM y de escenario) si bien siguen manteniéndose en todo caso en el rango  $[-30\%, +30\%]$ , siendo las señales generalmente más intensas en las simulaciones de ESCENA (Figura 2a,b) que en las de Euro-CORDEX (Figura 2c,d) tanto en invierno como en verano. A modo de ejemplo de las discrepancias entre los distintos experimentos, si comparamos los resultados para invierno del experimento PROMES-ECHAM5r2-A1B con los del experimento PROMES-ECHAM5r2-A2 (entre los que cambiamos del escenario A1B al A2; Figura 3a), las señales significativas pasan de ser mayoritariamente negativas y del orden del 20% en este peninsular, a ser positivas del mismo orden en las zonas del valle del Ebro y del Estrecho de Gibraltar. En general, a pesar de las diferencias entre las señales de invierno y de verano y entre los distintos escenarios a nivel de cada experimento, no existe dentro de cada estación ni de cada escenario un comportamiento mayoritario en el conjunto de simulaciones.

Como muestra la Figura 3, menos de la mitad de los miembros de cada conjunto de simulaciones proyectan cambios significativos, tanto en invierno como en verano. Además, en ambas estaciones los cambios medios que se proyectan están por debajo del 5%. Por lo tanto, es la dispersión de los cambios individuales la que indica si estamos bien ante un escenario de cambios relativamente despreciables, como ocurre en verano con una dispersión en torno al 10%, o bien ante un escenario de cambios no tan despreciables pero bastante inciertos, como ocurre en invierno con una dispersión que crece hasta el 20-30% y que implica incluso discrepancia en el signo del cambio proyectado, en particular bajo el escenario A1B.

### 5. CONCLUSIONES

El estudio de 26 proyecciones de cambio climático (multi-modelo y multi-escenario) sobre la Península Ibérica para mediados de siglo, de las que hemos analizado los cambios en radiación solar incidente en superficie y en velocidad del viento a 10 metros de altura por estaciones (invierno y verano), revela:

- una mayor influencia del GCM y el escenario considerados en cada simulación que de la elección del RCM;
- cambios máximos del orden del 20-30%, siendo las señales generalmente más intensas en el conjunto de simulaciones ESCENA que en Euro-CORDEX;

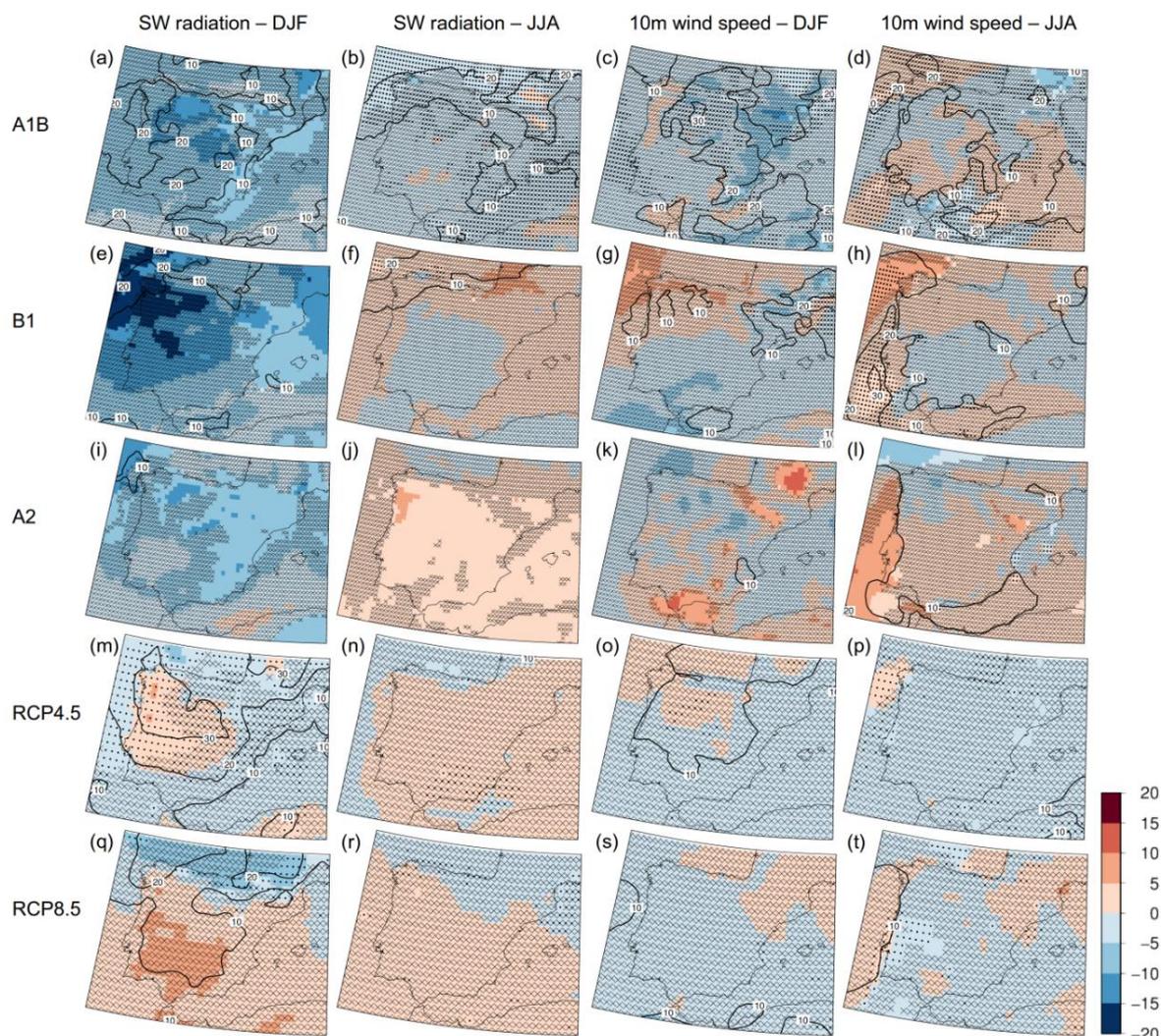


Fig. 3: Media (en colores) y dispersión (en contornos) de los cambios proyectados para cada escenario de futuro (en %) en invierno y verano para la radiación solar incidente en superficie y la velocidad del viento a 10 metros de altura. Las cruces indican que menos de la mitad de las proyecciones individuales son estadísticamente significativas (dentro de cada conjunto de simulaciones dado por el escenario de futuro). Los puntos indican que hay al menos una proyección estadísticamente significativa cuyo signo discrepa del de al menos otra proyección estadísticamente significativa dentro de cada conjunto de simulaciones.

- en ningún punto de la PI el número de simulaciones que proyectan cambios significativos es mayor o igual que la mitad del número total de simulaciones;
- discrepancia entre los distintos experimentos en cuanto a la distribución espacial, la intensidad y el signo de las señales, lo que resulta en valores del cambio medio proyectado raramente superiores al 5%, siendo la dispersión de los cambios proyectados mayor en invierno que en verano.

A pesar de que estos resultados desvelan una enorme incertidumbre en las proyecciones de estas dos variables, en vista de los mismos podríamos asegurar que, al menos en verano, no son esperables cambios muy bruscos que comprometan el desarrollo masivo de instalaciones de energía eólica y solar en una región con un enorme potencial para la generación de energías renovables como es la Península Ibérica.

## 6. REFERENCIAS

- Apergis, N. y Payne, J.E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), pp. 656-660.
- Bhattacharyya, S.C. (2009). Fossil-fuel dependence and vulnerability of electricity generation: Case of selected European countries. *Energy Policy*, 37(6), pp. 2411-2420.
- Déqué, M.; Somot, S.; Sanchez-Gomez, E.; Goodess, C.M.; Jacob, D.; Lenderink, G. y Christensen, O. B. (2012). The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: regional climate models, driving general circulation models and interannual variability. *Climate Dynamics*, 38(5-6), pp. 951-964.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33, L08707.
- Gómez-Navarro, J.J.; Montávez, J.P.; Jimenez-Guerrero, P.; Jerez, S.; Garcia-Valero, J.A. y Gonzalez-Rouco, J.F. (2010). Warming patterns in regional climate change projections over the Iberian Peninsula. *Meteorologische Zeitschrift*, 19(3), pp. 275-285.
- Hueging, H.; Haas, R.; Born, K.; Jacob, D. y Pinto, J.G. (2013). Regional changes in wind energy potential over Europe using regional climate model ensemble projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(4), pp. 903-917.
- IPCC (2000). Special Report on Emission Scenarios. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK, pp. 570.
- IPCC (2011). IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (Eds.). Cambridge University Press, UK, pp. 1075.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, UK, pp. 1535.
- Jerez, S.; Trigo, R.M.; Vicente-Serrano, S.M.; Pozo-Vázquez, D.; Lorente-Plazas, R.; Lorenzo-Lacruz, J.; Santos-Alamillos, F. y Montávez, J.P. (2013a). The Impact of the North Atlantic Oscillation on Renewable Energy Resources in Southwestern Europe. *Journal of Applied Meteorology & Climatology*, 52, pp. 2204-2225.
- Jerez, S.; Montavez, J.P.; Gomez-Navarro, J.J.; Lorente-Plazas, R.; Garcia-Valero, J.A. y Jimenez-Guerrero, P. (2013b). A multi-physics ensemble of regional climate change projections over the Iberian Peninsula. *Climate dynamics*, 41(7-8), pp. 1749-1768.
- Moreno, B. y López, A.J. (2008). The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), pp. 732-751.
- Moss, R.H.; Edmonds, J.A.; Hibbard, K.A.; Manning, M.R.; Rose, S.K.; Van Vuuren, D.P. *et al.* (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), pp. 747-756.
- Pryor, S.C. y Barthelmie, R.J. (2010). Climate change impacts on wind energy: A review.

*Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), pp. 430-437.

Ruiz-Arias, J.A.; Terrados, J.; Pérez-Higueras, P.; Pozo-Vázquez, D. y Almonacid, G. (2012). Assessment of the renewable energies potential for intensive electricity production in the province of Jaén, southern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), pp. 2994-3001.