

IMPACTO DE LOS AEROSOLES SOBRE LA PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA EN EL ÁREA EURO-MEDITERRÁNEA EN UN CONTEXTO CLIMÁTICO.

Gutiérrez C.*, **Perpiñán O.******,** **Gaertner M.Á.*****,** **Somot S.*******,** **Nabat P.** *****,**
Mallet M.***

* Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica, Universidad de Castilla-La Mancha.

** Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Física Aplicada,
ETSIDI-UPM, Madrid, Spain.

*** CNRM UMR 3589 Météo-France/CNRS, Centre National de Recherches
Météorologiques, Toulouse, France.

RESUMEN/RESUMO

Este trabajo analiza el impacto de los aerosoles sobre el área Euro-Mediterránea en la producción de energía fotovoltaica para escalas temporales climáticas. Los resultados muestran que los modelos climáticos regionales son una herramienta importante para evaluar la influencia de los aerosoles en el recurso solar, así como para la estimación del potencial fotovoltaico en un futuro. Los resultados del periodo histórico prueban que los aerosoles antropogénicos pueden reducir la productividad anual en más de un 20% . Para las proyecciones de cambio climático, la consideración de la evolución temporal de los aerosoles es fundamental para la estimación robusta del potencial energético.

PALABRAS CLAVE/PALAVRAS CHAVE: Energía Solar, Cambio Climático, Aerosoles

ABSTRACT

This work analyzes the impact of aerosols in photovoltaic energy production over the Euro-Mediterranean area for climate time scales. Results show that regional climate models are useful to evaluate the influence of aerosols in solar resource, as well as to estimate photovoltaic potential in the future. The analysis of the historical period show that anthropogenic aerosols can reduce annual productivity in more than 20%. For the climate change projections, the temporal evolution of aerosols is necessary to have a robust answer on the future energy potential.

KEYWORDS: Solar Energy, Climate Change, Aerosols

INTRODUCCIÓN/INTRODUÇÃO

El crecimiento generalizado de la capacidad instalada de energía fotovoltaica durante las últimas décadas obliga al estudio pormenorizado del recurso solar y sus características espacio-temporales. Las necesidades de los distintos agentes del sector energético abarcan desde la predicción a corto plazo para la operación de plantas fotovoltaicas, hasta escalas temporales más largas relacionadas con la planificación o estudios de viabilidad.

Debido a la relación entre el recurso solar y las variaciones en distintas variables atmosféricas, existe una creciente motivación para conocer la disponibilidad del recurso en condiciones de cambio climático. Es por ello que la modelización climática aparece como una de las herramientas necesarias para la evaluación del potencial energético en el futuro (Gaetani et al., 2015), incluso considerando algunas de sus limitaciones como su resolución espacial o la caracterización de la nubosidad.

Para la tecnología fotovoltaica la variabilidad de la radiación solar está asociada principalmente a las variaciones en la nubosidad. Sin embargo, en días claros, la cantidad de aerosoles en la atmósfera puede disminuir la radiación incidente en los generadores eléctricos, haciendo menor la energía producida.

Por su situación geográfica, el área mediterránea es una de las zonas más influenciadas por los aerosoles naturales y de origen antropogénico, influyendo en la distribución espacio-temporal de la radiación solar (Lelieveld et al., 2002). El potencial fotovoltaico en escenarios de cambio climático ha sido recientemente investigado sobre Europa usando tanto modelos climáticos globales como regionales (Crook et al., 2011, Wild et al. 2015). Sin embargo, la mayoría de ellos muestran limitaciones debido a la falta de consideración de los aerosoles en las simulaciones y/o la aplicación de modelos simplificados de producción fotovoltaica (Jerez et al. 2015).

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de los aerosoles en la generación eléctrica en distintos periodos temporales. Primero se considera un periodo histórico con evidencias observadas de una reducción de aerosoles de origen antropogénico sobre la zona. En segundo lugar, se consideran proyecciones de cambio climático que muestren la posible evolución del recurso solar en relación con la evolución de los aerosoles en el área y se analiza el uso de distintos modelos regionales climáticos.

METODOLOGÍA

En este estudio se utilizan distintas simulaciones de modelos regionales climáticos a partir de las cuales se obtienen las variables necesarias para el modelo fotovoltaico. La radiación de onda corta en superficie y la temperatura, se utilizan para calcular la productividad, definida como la energía producida por unidad de potencia instalada.

El estudio se divide en dos periodos: histórico, 1980-2012, conocido como “brightening period” por el aumento de la radiación en superficie observado, debido a la reducción de aerosoles antropogénicos sobre Europa (Wild et al, 2005) . En segundo lugar se estudian las proyecciones futuras bajo el escenario de emisiones RCP4.5 con dos modelos climáticos de la iniciativa Med-CORDEX.

Simulaciones climáticas

Periodo histórico. El análisis de éste periodo se realiza mediante una simulación climática con el modelo CNRM-RCS4 (Sevault et al., 2014) de 50 Km de resolución horizontal, que será utilizada como input de un modelo fotovoltaico. La simulación incluye una climatología de aerosoles, NAB13 (Nabat et al, 2013), que es hasta la fecha, la más precisa utilizada en modelización climática regional, además de una tendencia a los aerosoles de azufre para el periodo de análisis. La evaluación del modelo ha sido llevada a cabo en diferentes referencias (Nabat et al. 2014; Nabat et al. 2015b).

Escenario de emisiones RCP4.5. Hasta ahora, no todos los modelos climáticos regionales han considerado los aerosoles en sus proyección de escenarios de clima futuro. Por ello, un resultado robusto requiere del consenso de los grupos de modelización para poder hacer un estudio de sensibilidad adecuado. Sin embargo, a pesar de las limitaciones, un primer análisis de la influencia de los aerosoles en las proyecciones de radiación puede ayudar a sensibilizar a la comunidad sobre su importancia.

En este caso, se han utilizado dos modelos regionales climáticos de la iniciativa Med-CORDEX con una resolución espacial de 50 km y un dominio que abarca toda la zona Mediterránea y gran parte de Europa. Ambas simulaciones están anidadas en el mismo modelo climático global (GCM), CNRM-CERFACS-CM5.

Los modelos regionales empleados son CNRM-ALADIN y ENEA-PROTHEUS. Las características de cada uno de estos modelos climáticos están definidas en diferentes publicaciones científicas (Sevault et al., 2014) y su comportamiento evaluado a lo largo de la literatura (Artale et al. 2009).

La simulación del escenario RCP4.5 del modelo CNRM-ALADIN incluye la base de datos de aerosoles definida por Szopa et. al. Para las simulaciones de ENEA-PROTHEUS, sin embargo, no se incluyen aerosoles.

Modelo fotovoltaico

El cálculo de la producción fotovoltaica se realiza mediante el paquete de R 'solaR' (Perpiñán, O., 2012). Este software construido en el lenguaje de programación R, implementa las funciones necesarias de geometría solar, así como la transformación de la radiación incidente en el plano del generador a energía eléctrica.

RESULTADOS

Periodo Histórico

En este apartado, se analiza la diferencia de energía fotovoltaica anual en 1980 y la energía anual para el año 2012. La simulación representa la tendencia creciente de la radiación observada en el período histórico y ha sido evaluada en Nabat et al., 2014.

En la Fig. 1 (a) se puede observar la diferencia de energía entre el final y el principio del periodo histórico en términos absolutos por país.

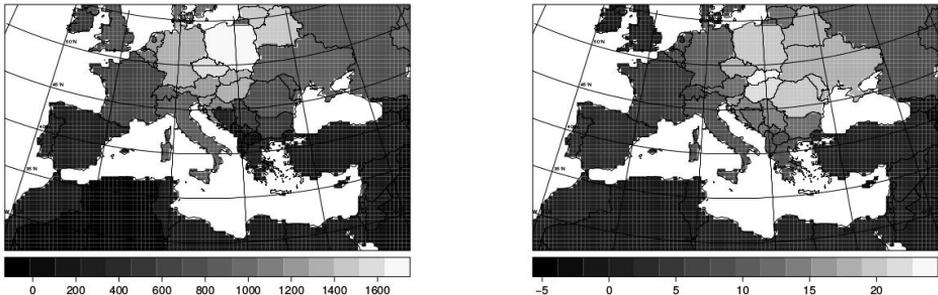


Fig. 1. (a) Diferencia absoluta media por país en productividad anual fotovoltaica [kWh/kWp] entre 2012 y 1980. (b) Diferencia relativa media por país de la productividad anual entre 2012 y 1980 [%].

Los resultados muestran que los países de Europa Central, sobre todo Alemania, Polonia y República Checa son los que en términos absolutos tienen un mayor aumento de su productividad fotovoltaica en el periodo histórico.

En términos relativos son los países del Este los que tienen un aumento mayor de la productividad, con alrededor de un 20% para Ucrania o República Checa y por encima de este valor para Eslovaquia, Polonia o Rumanía

Proyecciones futuras

Para las proyecciones del s. XXI con los dos modelos climáticos, se ha realizado un análisis de la radiación en superficie y la nubosidad como variable relevante en la evolución a largo plazo del recurso solar , para un escenario RCP4.5.

Se han analizado las anomalías de los meses de verano (junio, julio y agosto) con respecto a un periodo de referencia que es 1971-2000.

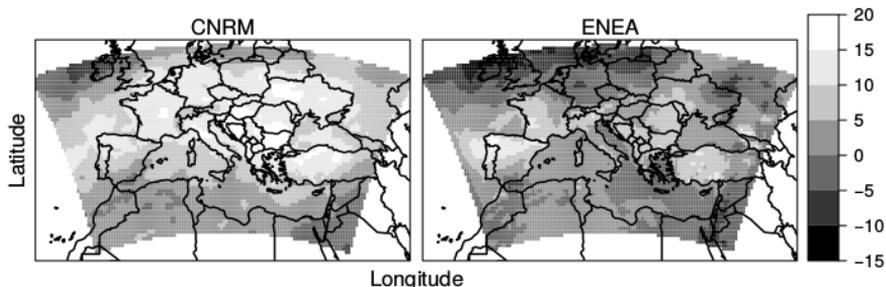


Fig. 2. Diferencia en media anual de radiación en superficie [W/m^2] para los meses junio, julio y agosto entre 2021/2050 y 1971/2000 para CNRM-ALADIN y ENEA-PROTHEUS.

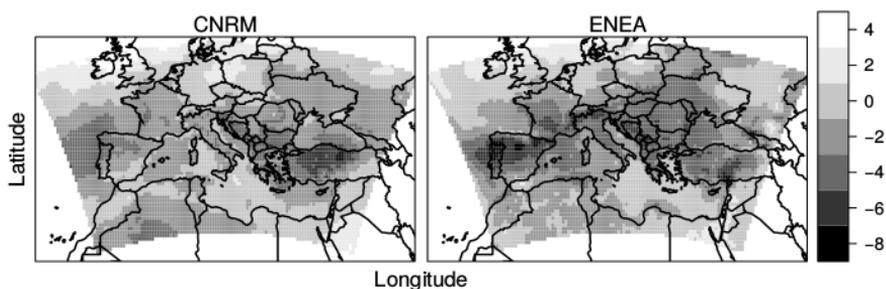


Fig. 3. Diferencia en media anual de cobertura total nubosa [%] para los meses junio, julio y agosto entre 2021/2050 y 1971/2000 para CNRM-ALADIN y ENEA-PROTHEUS.

En la figura 2 se aprecian las anomalías en la radiación solar en superficie para los dos modelos con respecto al periodo de referencia. El patrón espacial es diferente para ambos modelos. El modelo CNRM-ALADIN muestra un aumento generalizado sobre el dominio con valores de $10 \text{ W}/\text{m}^2$ y en ocasiones alcanzando una anomalía de $15 \text{ W}/\text{m}^2$. En el caso de ENEA-PROTHEUS, el patrón espacial es diferente, con anomalías negativas en la zona norte del dominio. Los valores positivos son de $5 \text{ W}/\text{m}^2$ en la zona sur de Europa, con algunas zonas puntuales con valores de $10 \text{ W}/\text{m}^2$. La zona suroeste del dominio, que corresponde con la Península Ibérica, alcanza localmente los valores de anomalía más altos, de unos $15 \text{ W}/\text{m}^2$.

En la figura 3 podemos apreciar las anomalías de la cubierta nubosa de los dos modelos con

respecto al mismo periodo de referencia. En este caso, los patrones espaciales de ambos modelos son parecidos entre sí, proyectando un descenso de la cubierta nubosa para la zona Mediterránea y un ligero ascenso en el norte de Europa.

Las diferencias en los patrones espaciales de radiación sugieren que existen otros factores que afectan a la evolución del recurso en las proyecciones. Un cálculo de las correlaciones espaciales entre las anomalías de radiación y nubosidad para los dos modelos se presenta en la tabla 1.

| | $\Delta SSR [W/m^2]$ | $\Delta CLT [%]$ | $cor(\Delta SSR, \Delta CLT)$ | $cor(\Delta SSR, \Delta AOD)$ |
|---------------|----------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ENEAPROTHEUS | 0.67 | -1.76 | -0.90 | - |
| CNRMALADIN5.2 | 6.83 | -1.17 | -0.61 | -0.66 |

Tabla 1. Anomalías de radiación (SSR) y cubierta nubosa (CLT) para el periodo 2021-2050 con respecto al periodo de referencia 1971-2000 y correlaciones espaciales entre las anomalías de radiación y la nubosidad y la anomalía de radiación y anomalía de profundidad óptica de aerosoles (AOD).

La anomalía media de todo el dominio de la radiación en superficie, SSR, es mucho mayor para CNRM-ALADIN5.2, mientras que para CLT es similar en ambos modelos. La correlación espacial entre la nubosidad y la radiación es muy alta para el modelo ENEA-PROTHEUS y mucho menor para CNRM-ALADIN5.2.

CONCLUSIONES/COMENTÁRIOS FINAIS

Debido a la relación entre las variables atmosféricas y la generación eléctrica con energías renovables, es necesario el estudio de la evolución de los recursos en un contexto de cambio climático. Para ello son importantes tanto la variabilidad de los recursos en periodos históricos y en las proyecciones de clima futuro.

A partir de los resultados de la contribución, pueden extraerse las siguientes conclusiones: en primer lugar, se muestra que los aerosoles tienen un influencia importante sobre la variabilidad espacio-temporal de la productividad fotovoltaica sobre la cuenca mediterránea.

En segundo lugar, se observan las diferencias entre dos modelos climáticos distintos y las proyecciones de radiación solar en superficie y nubosidad sobre el área mediterránea. Las diferentes anomalías indican que además de la nubosidad hay otros factores que afectan a la radiación, apuntando a un posible efecto de los aerosoles. El modelo CNRM-ALADIN5.2

muestra un aumento generalizado en la zona central y sur de Europa, mientras que el patrón espacial de ENEA-PROTHEUS es diferente, con aumentos localizados y ligados con una reducción de la nubosidad, como muestra la alta correlación espacial entre las dos variables.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra el reducido número de simulaciones que impide analizar un ensemble compuesto de diferentes modelos que nos de un rango de dispersión y permita analizar la sensibilidad de cada uno de ellos. A pesar de esto, es importante considerar que debido a que muchos de los modelos regionales no incluyen la evolución de los aerosoles en sus proyecciones futuras, cuando se han analizado los ensembles de proyecciones climáticas, no se los ha considerado de manera diferente, pudiendo ésto haber sido una fuente de error importante. Por ello, este primer trabajo quiere mostrar la necesidad de diferenciar las distintas simulaciones climáticas en función de la caracterización de los aerosoles para poder utilizarlas para modelos de impactos o servicios climáticos.

REFERENCIAS/REFERÊNCIAS

Artale, V., Calmanti S., Carillo A., Dell'Aquila A., Marine H., Pisacane, G., Ruti P.M, Sannino G., Struglia M.V., Giorgi F., Xunqiang Bi, Rauscher S., (2010). An atmosphere-ocean regional climate model for the Mediterranean area: Assessment of a present climate simulation. *Climate Dynamics*.

Crook, J.A., Jones, L.A., Forster, P.M., Crook, R. (2011). Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. *Energy & Environmental Science* 4, 3101.

Gaetani, M., Vignati E., Montforti F., Huld T., Dosio A., Rases S. (2015). Climate modelling and renewable energy resource assessment. *JRC Science and Policy Report*.

Jerez, S., Tobin, I., Vautard, R., Montávez, J.P., López-Romero, J.M., Thais, F., Bartok, B., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Nikulin, G., Kotlarski, S., van Meijgaard, E., Teichmann, C., Wild, M. (2015). The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. *Nature communications* 6, 10014.

Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P., Dentener, F., Fischer, H., Feichter, J., Flatau, P.J., Heland, J., Holzinger, R., Korrmann, R., Lawrence, M., Levin, Z., Markowicz, K., Mihalopoulos, N., Minikin, A., Ramanathan, V., De Reus, M., G-J, R., Ziereis, H. (2002). Global Air Pollution Crossroads over the Mediterranean. *Science*. 298, 794–799. New York, N.Y.

Nabat, P., Somot, S., Mallet, M., Chiapello, I., Morcrette, J.J., Solmon, F., Szopa, S., Dulac, F., Collins, W., Ghan, S., Horowitz, L.W., Lamarque, J.F., Lee, Y.H., Naik, V., Nagashima, T., Shindell, D., Skeie, R. (2013). A 4-D climatology (1979-2009) of the monthly tropospheric aerosol optical depth distribution over the Mediterranean region from a comparative evaluation and blending of remote sensing and model products. *Atmospheric Measurement Techniques*.

Nabat, P., Somot, S., Mallet, M., Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., (2014). Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980. *Geophysical Research Letters*

Nabat, P., Somot, S., Mallet, M., Sevault, F., Chiacchio, M., Wild, M. (2015). Direct and semi-direct aerosol radiative effect on the Mediterranean climate variability using a coupled regional climate system model. *Climate Dynamics*. 44, 1127–1155.

Perpiñán, O. (2012). solaR: Solar Radiation and Photovoltaic Systems with R. *JSS, Journal of Statistical Software*. 50, 32pp

Sevault, F., Somot, S., Alias, A., Dubois, C., Lebeaupin-Brossier, C., Nabat, P., Adloff, F., Déqué, M., Decharme, B. (2014). A fully coupled Mediterranean regional climate system model: design and evaluation of the ocean component for the 1980–2012 period. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 66, 23967

Wild M., Folini D., Henschel F., Fischer N, Müller B., (2015). Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. *Solar Energy*. 116, 12-24.

Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C.N., Dutton, E.G., Forgan, B., Kallis, A., Russak, V., Tsvetkov, A. (2005). From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at Earth's Surface. *Science* 308, 847–850.