

TENDENCIAS DE LA NUBOSIDAD EN EL MEDITERRÁNEO A PARTIR DE OBSERVACIONES DESDE SUPERFICIE, SATÉLITES, REANÁLISIS Y SIMULACIONES CLIMÁTICAS

Arturo SANCHEZ-LORENZO, Aaron ENRIQUEZ-ALONSO, Josep CALBÓ,
Josep-Abel GONZÁLEZ

Grupo de Física Ambiental, Universidad de Girona

arturo.sanchez@udg.edu, aaron.enriquez@udg.edu, josep.calbo@udg.edu, jose.gonzalez@udg.edu

RESUMEN

Se presentan las tendencias de la nubosidad total en el Mediterráneo durante el periodo 1984-2005. En concreto, se han comparado los resultados proporcionados por diferentes fuentes de datos desde superficie, satélite (ISCCP, CLARA, PATMOS-x) y reanálisis (ERA-Interim, NCEP-DOE, MERRA). Igualmente, se han estudiado las simulaciones climáticas históricas proporcionadas por 44 modelos globales del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Para todos los productos globales y simulaciones se ha generado una malla común con una resolución espacial de $2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ en latitud y longitud. Los resultados muestran una tendencia descendente de la nubosidad total en el Mediterráneo durante el período analizado. Dicho descenso se ve reflejado en la mayor parte de los productos de satélite y reanálisis considerados en este estudio, y confirmados por las observaciones desde superficie. Igualmente, las simulaciones climáticas reproducen dicho descenso de la nubosidad en el Mediterráneo.

Palabras clave: nubosidad total, tendencias, observaciones desde superficie, satélites, reanálisis, simulaciones climáticas, Mediterráneo.

ABSTRACT

In this study, total cloud cover trends provided by different global databases have been compared among them for the Mediterranean region, and for the period 1984-2005. Specifically, databases from several satellite projects (ISCCP, CLARA, PATMOS-x) and reanalysis products (ERA-Interim, NCEP-DOE, MERRA) have been chosen. Other regional databases built from observational sources have been selected as additional references. Simulations from 44 climate runs of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) corresponding to the historical scenario have been compared against the observations. All databases were interpolated to a $2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ resolution grid before performing comparisons and statistical analyses. Overall, there is a relatively good agreement between the time evolution of total cloud cover provided by most of the satellite and reanalysis products, as well as from surface observations. In addition, the historical climate model simulations indicate a cloud cover decrease of lower magnitude.

Key words: total cloud cover, trends, surface observations, satellites, reanalyses, climate model simulations, Mediterranean.

1. INTRODUCCIÓN

Las nubes tienen un papel muy importante en la regulación de los flujos de radiación en la cima de la troposfera y en la radiación que llega a la superficie terrestre, y por lo tanto, en el sistema climático (Boucher *et al.*, 2013). En concreto, las nubes reflejan radiación solar hacia el espacio (contribuyendo significativamente al albedo planetario y por lo tanto provocando un efecto de enfriamiento) y también absorben radiación infrarroja (provocando efecto invernadero y el consiguiente calentamiento). Aunque actualmente el efecto neto global de las nubes es de enfriamiento (forzamiento negativo), no se conoce con exactitud cuál puede ser el efecto de las nubes en un clima futuro (Boucher *et al.*, 2013).

De hecho, la respuesta de la nubosidad al cambio climático contemporáneo, provocado principalmente por el aumento de gases de efecto invernadero, sigue siendo la mayor fuente de incertidumbre presente en las estimaciones de la sensibilidad climática (Flato *et al.*, 2013). Por consiguiente, el estudio de las variaciones pasadas de la nubosidad puede contribuir significativamente a mejorar la comprensión de la respuesta de la nubosidad al cambio climático, y a cuantificar correctamente el forzamiento radiativo de los gases de efecto invernadero y el aerosol atmosférico. Igualmente, un mayor conocimiento de las tendencias de la nubosidad podría servir para evaluar mejor las causas del *global dimming (brightening)* observado en buena parte del planeta (Wild, 2009), y que consiste en un descenso (aumento) de la radiación solar incidente en superficie entre las décadas de 1950 y 1980 (desde los años 1980), posiblemente debido a un aumento (descenso) de la nubosidad y el aerosol atmosférico (Wild, 2009; Sanchez-Lorenzo y Wild, 2012).

La observación de la nubosidad suele hacerse visualmente desde superficie, o bien mediante el análisis de las imágenes tomadas desde los satélites. Ninguno de los dos sistemas está libre de limitaciones, problemas que se incrementan por la alta variabilidad temporal y espacial de la nubosidad (Norris, 2000). Todo ello explica la escasez de estudios climatológicos de la nubosidad, en particular, sobre sus tendencias, al menos si se compara con la abundancia de trabajos centrados en variables como la temperatura o la precipitación. En cualquier caso, y en base a las observaciones desde la superficie, se aprecia una tendencia ascendente de nubosidad total desde principios del siglo XX sobre muchas zonas continentales, incluyendo Europa occidental (Sanchez-Lorenzo *et al.*, 2012). No obstante, si los análisis se restringen a las últimas décadas, se aprecia un ligero descenso de la nubosidad total desde los años 1970 (Eastman y Warren, 2013), especialmente en latitudes medias. Los análisis realizados con datos satelitales, y en concreto del proyecto ISCCP (Rossow y Dueñas, 2004), muestran igualmente un descenso desde los años 1980 a la actualidad, aunque posiblemente debido a inhomogeneidades en los datos del ISCCP (Norris, 2000; Evan *et al.*, 2007), pues otros productos satelitales, como PATMOS-x, presentan diferentes tendencias (Arndt *et al.*, 2010).

Para el Mediterráneo, son escasos los trabajos relacionados sobre la evolución de la nubosidad en el pasado. No obstante, en España las tendencias de la nubosidad muestran un aumento significativo desde mediados del siglo XIX (Sanchez-Lorenzo *et al.*, 2012), aunque desde mediados del siglo XX se aprecia un claro descenso de la nubosidad (Sanchez-Lorenzo *et al.*, 2009, 2012), descenso que desde los años 80s se aprecia igualmente en productos de satélite y reanálisis (Calbó y Sanchez-Lorenzo, 2009). Igualmente, Maugeri *et al.* (2001) observan un descenso de la nubosidad en Italia durante el periodo 1951-1996 a partir de observaciones desde la superficie. Lolis (2009) observa una tendencia negativa en la nubosidad invernal del Mediterráneo entre 1951 y el 2005 a partir de datos de reanálisis del NCEP/NCAR.

En el presente trabajo se presentan las tendencias de la nubosidad total en el conjunto del Mediterráneo, las cuales se han estudiado a partir de fuentes de datos proporcionados por satélites (ISCCP, CLARA, PATMOS-x) y reanálisis (ERA-Interim, NCEP/DOE, MERRA). Igualmente, se han empleado observaciones desde superficie de diferentes países que han servido para validar los resultados de las fuentes de datos globales. Además, se han estudiado las simulaciones climáticas históricas proporcionadas por diferentes modelos climáticos.

2. DATOS Y MÉTODOS

Los valores medios mensuales de la nubosidad total (%) se han extraído de diferentes productos de satélite y reanálisis. La Tabla 1 detalla la información para cada uno de estos productos. Igualmente, se han empleado series procedentes de observaciones desde superficie disponibles en España (Sanchez-Lorenzo *et al.*, 2012), Suiza (Sanchez-Lorenzo y Wild, 2012) y Bulgaria (Klein Tank *et al.*, 2002).

PRODUCTO	REFERENCIA	RESOLUCIÓN (lat×lon)	PERIODO
ISCCP-D2	Rossow y Dueñas (2004)	280 km	July1983 – 2009
CLARA	Karlsson <i>et al.</i> (2013)	0.25° × 0.25°	1983-2009
PATMOS-x	Foster y Heidinger 2013	1° × 1°	1981-2012
ERA-Interim	Dee <i>et al.</i> (2011)	0.75° × 0.75°	1979-actualidad
NCEP/DOE	Kanamitsu <i>et al.</i> (2002)	~1.9° × 1.9°	1979-actualidad
MERRA	Rienecker <i>et al.</i> (2011)	0.5° x ~0.67°	1979-actualidad

Tabla 1. DETALLE DE LOS PRODUCTOS DE SATÉLITE Y REANÁLISIS

Las simulaciones de los modelos climáticos globales empleados en este estudio se han extraído de los 44 modelos disponibles en el *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5, Taylor *et al.* 2012). Se han usado las simulaciones del experimento histórico (disponibles entre 1850 y 2005), es decir, incluyendo los forzamientos naturales y antrópicos. En concreto, se han considerado los valores medios mensuales para la primera realización disponible en cada uno de los 44 modelos (más detalles en Enriquez-Alonso *et al.*, 2014).

Se han usado los datos entre 1984 y 2005, pues corresponde al periodo común entre las diferentes bases de datos y las simulaciones. Para todos los productos y simulaciones se ha generado una rejilla a una resolución espacial de 2°×2.5° en latitud y longitud a partir de una función de interpolación bilineal implementada en el *NCAR Command Language* (NCL). Finalmente, se han extraído los valores de la nubosidad en el Mediterráneo, que se corresponden a las celdas comprendidas entre los 10°W y 40°E, y 30°N y 48°N.

Los valores medios mensuales de la nubosidad total se han desestacionalizado en todos los productos, simulaciones, y observaciones desde superficie, calculando las anomalías mensuales respecto a la media del periodo 1984-2005. En este estudio, las tendencias lineales se han calculado mediante el método de mínimos cuadrados, y se ha evaluado su significación ($p \leq 0.05$) a partir del estadístico de Mann-Kendall. Igualmente, para evaluar la relación lineal entre diferentes productos, se ha calculado los coeficientes de correlación de Pearson entre las series.

3. RESULTADOS

3.1. Tendencias de los productos de satélite y reanálisis

La Fig. 1 muestra las tendencias lineales de la nubosidad total en el Mediterráneo entre 1984 y 2005 para cada una de las bases de datos descritas en el apartado anterior. Los resultados muestran un predominio de tendencias negativas en la mayor parte del área de estudio y productos, con la excepción del reanálisis NCEP-DOE donde se aprecian áreas extensas con destacadas tendencias positivas. El rango de los valores en las tendencias observadas igualmente es diferente entre los productos considerados, especialmente en CLARA y NCEP-DOE. Así, en CLARA se aprecian tendencias negativas muy acusadas en buena parte del área de estudio, con valores que incluso son inferiores a un -5% por década. Por su parte, el NCEP-DOE presenta aumentos muy importantes de la nubosidad en sectores del noroeste de la Península Ibérica y, especialmente, en los sectores centro-orientales del Mar Mediterráneo, donde se superan tendencias positivas de $+5\%$ por década.

En línea con lo anterior, las series medias del área de estudio muestran que NCEP-DOE tiene un valor positivo ($+0.2\%$ por década), mientras que los otros productos presentan tendencias negativas. Dicho descenso en los otros productos están entre un mínimo de -0.7% por década (PATMOS-x) y un máximo de -2.0% por década (ISCCP), pasando por los valores de MERRA (-0.8% por década) y ERA-Int (-1.4% por década). Por su parte, CLARA presenta el mayor descenso medio, con una tendencia negativa de -4.3% por década.

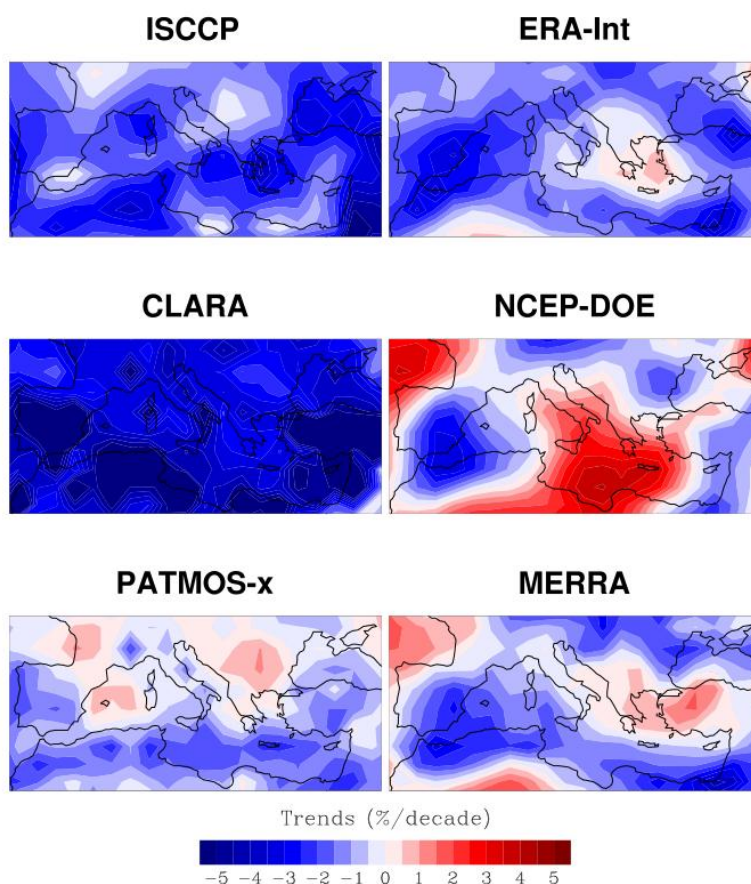


Fig. 1: Tendencias (% por década) de las anomalías mensuales de la nubosidad total en el Mediterráneo en productos satelitales (izquierda) y reanálisis (derecha) entre 1984 y 2005.

Las diferencias apuntadas para CLARA y NCEP-DOE respecto a los otros productos se han confirmado al comparar cada uno de los productos con las series procedentes de observaciones desde superficie en España, Suiza y Bulgaria. Si bien es cierto que los coeficientes de correlación entre las series de anomalías mensuales de las observaciones y los diferentes productos no presentan diferencias importantes, pues siempre tienen valores iguales o superiores a 0.8, las tendencias en cada una de esas áreas muestran diferencias relevantes, especialmente para CLARA y NCEP-DOE. Así, por ejemplo, en Suiza las observaciones apuntan a un ligero descenso no significativo de la nubosidad durante el periodo de estudio, mientras que CLARA y NCEP-DOE muestran descensos significativos de -2.6% y -1.8% por década. El resto de productos capturan el ligero descenso de la nubosidad, sin que dichos descensos sean significativos. Igualmente, sobre Bulgaria se aprecia un ligero aumento no significativo con las observaciones desde superficie, que contrasta con los importantes descensos observados en CLARA (-2.4% por década) y NCEP-DOE (-1.4% por década), y valores mucho más próximos a las observaciones desde superficie para los otros productos.

Por lo tanto, se ha considerado oportuno descartar a CLARA y NCEP-DOE como productos de referencia en los análisis posteriores. Igualmente, y debido a las incertidumbres existentes en las propias observaciones desde superficie y los propios productos de satélite y reanálisis, se ha descartado seleccionar solo uno de los restantes como producto de referencia o de mayor calidad. Así, se ha optado por considerar el promedio de las anomalías mensuales de ISCCP, PATMOS-x, ERA-Int y MERRA (que a continuación se le denominará IPEM) para estimar las tendencias de la nubosidad en el conjunto del Mediterráneo y evaluar las simulaciones de los modelos climáticos. La Fig. 2 muestra un ejemplo del excelente acuerdo existente entre las series de anomalías medias mensuales procedentes de las observaciones desde la superficie y la correspondiente para el IPEM en España y Bulgaria.

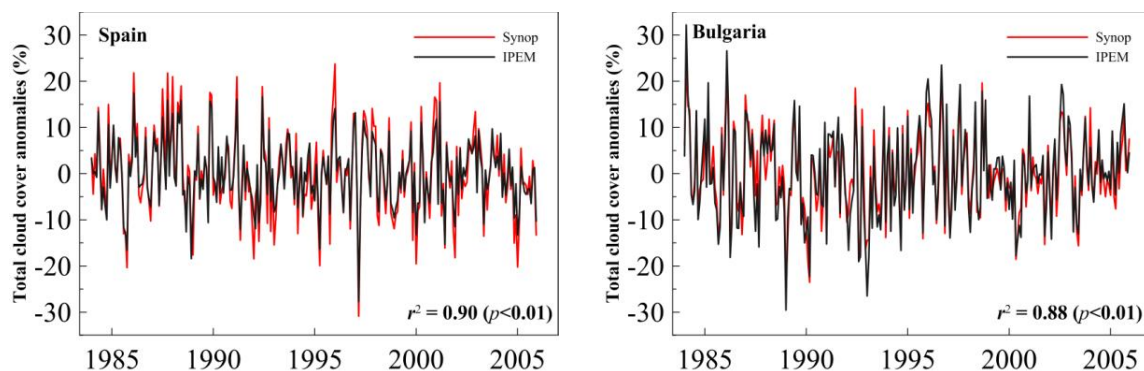


Fig. 2: Evolución de las anomalías medias mensuales de la nubosidad total en España (izquierda) y Bulgaria (derecha) entre 1984 y el 2005 a partir de las observaciones desde superficie (línea roja) e IPEM (línea negra). El producto IPEM es el resultado de promediar las anomalías mensuales del ISCCP, PATMOS-x, MERRA y ERA-Int.

La Fig. 3 (arriba) muestra las tendencias lineales de la nubosidad total en el Mediterráneo entre 1984 y 2005 para el producto IPEM. Los resultados muestran un predominio de tendencias negativas en la mayor parte del área de estudio, especialmente en los sectores del suroeste de Europa, norte de África y sectores más orientales y surorientales. Con todo, también se aprecian tendencias próximas a cero, o con valores ligeramente positivos, en el área occidental de Francia y el este y sudeste de Europa. Las tendencias observadas son consistentes, pues la mayor parte de los productos empleados indican la misma tendencia de forma individual (Figura 3, abajo).

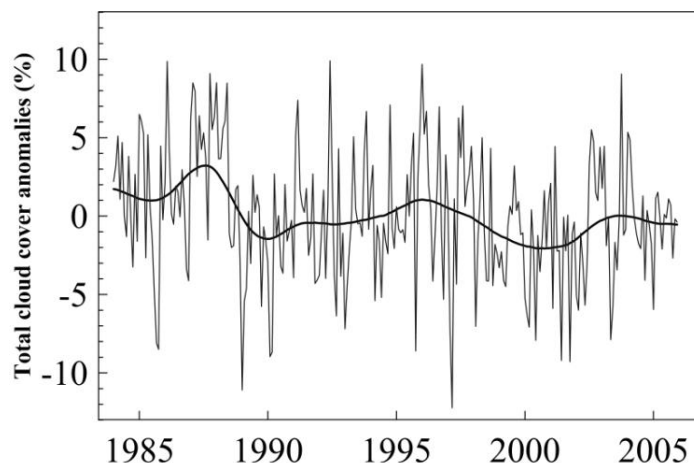


Fig. 4: Evolución las anomalías (%) medias mensuales de la nubosidad total en el conjunto del Mediterráneo a partir de IPED (línea fina), junto a un filtro gaussiano de paso bajo de 5 años (línea gruesa) entre 1984 y 2005.

3.2. Tendencias de las simulaciones del CMIP5

La Fig. 5 (arriba) muestra las tendencias de la nubosidad total obtenidas con el promedio de todos los modelos del CMIP5. Los resultados muestran que buena parte del área de estudio tiene tendencias negativas, especialmente en los sectores occidentales de Europa y área central del Mar Mediterráneo. De hecho, en general hay un acuerdo en las tendencias proporcionadas por los modelos de forma individual, pues la mayor parte de ellos apuntan a un descenso de la nubosidad y en ningún punto los modelos que muestran tendencias positivas superan a los que muestran tendencias negativas (Fig. 5, abajo).

La tendencia media del conjunto de 44 modelos, para todo el área de estudio, es negativa y con un valor de -0.4% por década, valor sensiblemente inferior a lo deducido para el conjunto del Mediterráneo a partir del producto IPED (ver sección 3.1). Debido a la menor variabilidad de la media de los 44 modelos respecto a lo observado, la tendencia es igualmente significativa. Aproximadamente un 80% de los 44 modelos muestra una tendencia negativa en la serie media de todo el área de estudio, con un intervalo de confianza (95%) para esos 44 valores de tendencias en cada uno de los modelos, de entre -0.3% y -0.6% por década. Así, y aunque se aprecia una ligera subestimación generalizada de los valores de las tendencias de la nubosidad en los modelos climáticos, es interesante resaltar que son capaces de capturar el signo respecto a los resultados proporcionados por las observaciones. Esta consistencia entre las observaciones y las simulaciones se refleja igualmente en la Fig. 6, donde se aprecia que para aproximadamente el 90% del área de estudio existe una tendencia negativa tanto en IPED como en la media de las simulaciones de los 44 modelos del CMIP5. Así, aunque existe una ligera subestimación de las tendencias simuladas por los modelos, se constata un acuerdo respecto a los cambios de la nubosidad observados entre 1984 y 2005 en el Mediterráneo.

Finalmente, es necesario destacar que si se seleccionan los 9 mejores modelos a la hora de reproducir las características climatológicas (valores medios, ciclo anual, etc.) de la nubosidad total en el Mediterráneo (Enriquez-Alonso *et al.*, 2014), la tendencia media de esos modelos es considerablemente más negativa, con un valor de -0.7% por década (con un intervalo de confianza de -0.3% a -1.0%), y por tanto algo más acorde con las observaciones.

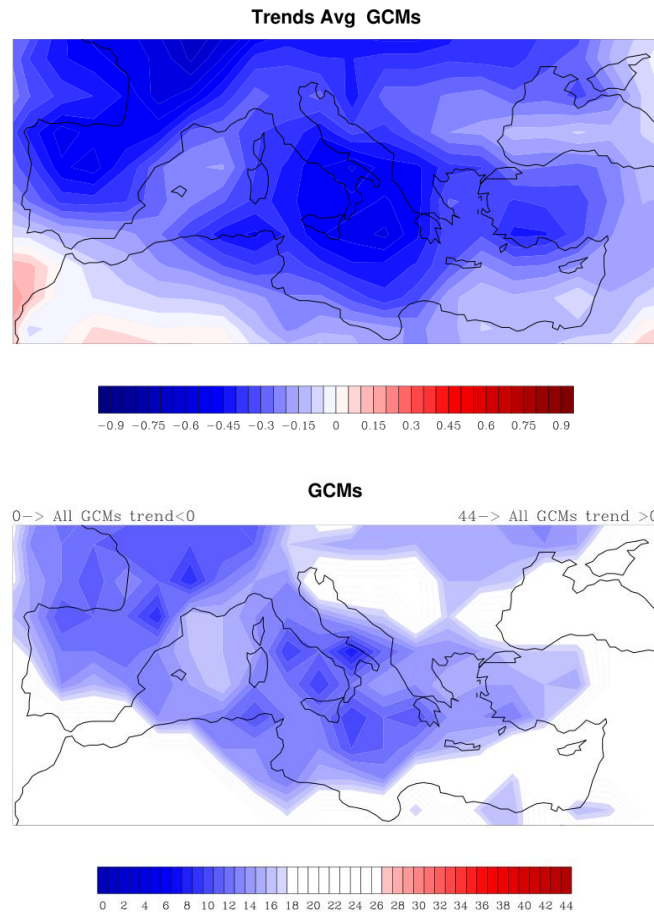


Fig. 5: (arriba) Tendencias de la nubosidad en el Mediterráneo obtenidas a partir del promedio de los 44 modelos globales, periodo 1984-2005. (abajo) Evaluación de la incertidumbre de las tendencias en los modelos, indicando el número de modelos que dan un descenso en la nubosidad. Así, un valor de 0 indica que los 44 modelos analizados muestran tendencias negativas. En cambio, un valor de 44 indica que ningún modelo da descensos, es decir, que todos apuntan a aumentos de la nubosidad.

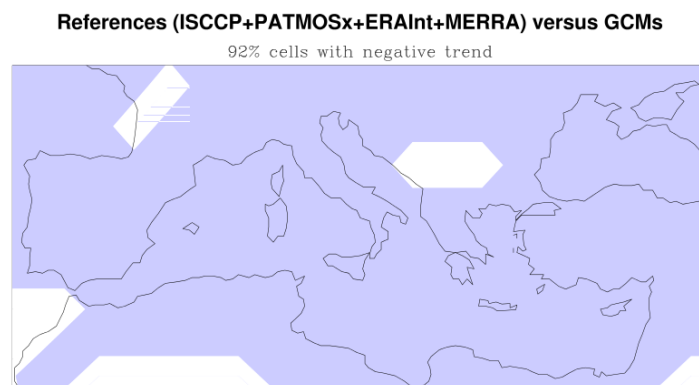


Fig. 6: Evaluación del acuerdo en las tendencias indicadas por IPPEM y el conjunto de 44 modelos del CMIP5 para el Mediterráneo durante el periodo 1984-2005. En sombreado se muestran los puntos de la rejilla donde las observaciones y simulaciones coinciden en el signo negativo, y en blanco donde no existe acuerdo entre ambas.

4. CONCLUSIONES

Existe una elevada incertidumbre en las tendencias de la nubosidad a nivel global y regional, principalmente debido a los problemas de homogeneidad temporal de los diferentes productos de satélite y reanálisis (Evan *et al.*, 2007). Además, las observaciones de superficie tienen un elevado grado de subjetividad y no tienen cobertura global. Igualmente, la nubosidad es una de las principales fuentes de incertidumbres en los modelos climáticos actuales, debido principalmente a las dificultades para obtener parametrizaciones precisas para la mayor parte de sus procesos físicos (Boucher *et al.*, 2013).

En este trabajo se ha estudiado, en primer lugar, las tendencias de la nubosidad total proporcionadas por diferentes productos satelitales y de reanálisis. La validez de dichos productos se ha completado mediante una comparación con observaciones de nubosidad desde superficie obtenidas en tres países diferentes del área de estudio. Esta comparación confirma que los datos de satélite CLARA y reanálisis NCEP-DOE proporcionan las tendencias más contradictorias respecto a las otras fuentes de datos y las observaciones desde superficie. Así, se ha generado un nuevo producto obtenido a partir del promedio de los otros productos que obtienen unos resultados más aproximados a lo observado. Ese producto, que considera los datos de los satélites ISCCP y PATMOS-x y los reanálisis ERA-Int y MERRA, muestra un descenso generalizado de la nubosidad total en el Mediterráneo, con unos valores medios que rondan el -1% por década entre 1985 y 2005, aunque dichas tendencias están condicionadas por un máximo muy marcado en 1987 (al inicio del periodo analizado). Estos resultados están en línea con las tendencias observadas desde superficie desde los años 1970 en el Mediterráneo (Maugeri *et al.*, 2001; Sanchez-Lorenzo *et al.*, 2009, 2012; Lolis, 2009; Eastman y Warren, 2013).

En segundo lugar, las simulaciones históricas del CMIP5 reproducen el descenso de la nubosidad en el Mediterráneo, aunque con unos valores que subestiman las tendencias observadas. Con todo, un importante número de las simulaciones consideradas para los 44 modelos del CMIP5 se aproximan a las tendencias medias observadas. Así, por ejemplo, las tendencias de los mejores modelos en capacidad de reproducir las características climáticas de la nubosidad en el Mediterráneo (Enriquez-Alonso *et al.*, 2014), proporcionan una tendencia media entorno al -0.7% por década, un valor más próximo al de las observaciones. Este aspecto es de especial interés debido a las limitaciones que tradicionalmente han tenido los modelos climáticos para reproducir las variaciones decadales de la nubosidad y por consiguiente, de la radiación solar en superficie (Wild y Schmucki, 2011).

Los resultados de este estudio evidencian que los modelos climáticos del CMIP5 simulan un descenso de la nubosidad total en el Mediterráneo, y por lo tanto en el futuro sería interesante evaluar los cambios de la radiación solar en superficie, tanto en las observaciones como en las propias simulaciones del CMIP5, con el objetivo de mejorar el conocimiento de las causas del global *brightening* observado desde los años 1980.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio Economía y Competitividad (MINECO), a través del proyecto NUCLERSOL (CGL2010-18546). El primer autor está financiado por una beca postdoctoral de la Generalitat de Catalunya (2011 BP-B 00078). El segundo autor está financiado por el programa FPI (BES-2011-049095) del MINECO.

6. REFERENCIAS

- Arndt, D. S. et al. (2010). “State of the Climate in 2009”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1–224.
- Boucher, O. et al. (2013). Clouds and Aerosols. En: Stocker, T.F. *et al.* (eds). *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Calbó, J. y Sanchez-Lorenzo, A. (2009). “Cloudiness climatology in the Iberian Peninsula from three global gridded datasets”. *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 105-115.
- Dee, D.P. *et al.* (2011). “The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system”. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553–597.
- Eastman, R. y Warren, S.G. (2013). “A 39-Yr Survey of Cloud Changes from Land Stations Worldwide 1971–2009: Long-Term Trends, Relation to Aerosols, and Expansion of the Tropical Belt”. *J. Climate*, 26, 1286- 1303.
- Enriquez-Alonso, A. et al. (2014). “Assessment of total cloud cover climatologies obtained from satellite, surface observations, reanalysis, and CMIP5 simulations: a comparison for the Mediterranean region (1984-2005)”. *Clim. Dyn.*, en revisión.
- Evan, A.T., Heidinger, A.K. y Vimont, D.J. (2007). “Arguments against a physical long-term trend in global ISCCP cloud amounts”. *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi: 10.1029/2006GL028083.
- Flato, G. *et al.* (2013). Evaluation of Climate Models. En: Stocker, T.F. *et al.* (eds). *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Foster, M.J. y Heidinger, A. (2013). “PATMOS-x: Results from a Diurnally Corrected 30-yr Satellite Cloud Climatology”. *J. Climate*, 26, 414–425.
- Kanamitsu, M. *et al.* (2002). “NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)”. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83, 1631–1643.
- Karlsson, K.-G. *et al.* (2013). “CLARA-A1: a cloud, albedo, and radiation dataset from 28 yr of global AVHRR data”. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 5351–5367.
- Klein Tank, A.M.G. et al. (2002). “Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. of Climatol.*, 22, 1441-1453.
- Maugeri, M. et al. (2001). “Trends in Italian total cloud amount, 1951-1996”. *Geophys. Res. Lett.*, 28 (24), 4551-4554.
- Lolis, C.J. (2009). “Winter cloudiness variability in the Mediterranean region and its connection to atmospheric circulation features”. *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 357-373.
- Norris, J.R. (2000). “What can cloud observations tell us about climate variability?”. *Space Sci. Rev.*, 94, 375–380.
- Rienecker, M.M. *et al.* (2011). “MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications”. *J. Climate*, 24, 3624-3648.
- Rossow, W.B. y Dueñas, E. (2004). “The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web Site: an online resource for research”. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 167–172.
- Sanchez-Lorenzo, A. y Wild, M. (2012). “Decadal variations in estimated surface solar radiation over Switzerland since the late 19th century”. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 8635–8644.
- Sanchez-Lorenzo, A. Calbó, J.; Brunetti, M. y Deser, C. (2009). “Dimming/brightening over the Iberian Peninsula: Trends in sunshine duration and cloud cover, and their relations with atmospheric circulation”. *J. Geophys. Res.*, 114, doi:10.1029/2008JD011394.
- Sanchez-Lorenzo, A.; Calbó, J. y Wild, M. (2012). “Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain”. *Clim. Past.*, 8, 1199-1212.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl G. (2012). “An Overview of CMIP5 and the Experiment Design”. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 485–498.
- Wild, M. (2009). “Global dimming and brightening: A review”. *J. Geophys. Res.*, 114, D00D16, doi:10.1029/2008JD011470.
- Wild, M. y Schmucki, E. (2011). “Assessment of global dimming and brightening in IPCC-AR4/CMIP3 models and ERA40”. *Clim. Dyn.*, 37, 1671–1688.