

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA RADIACIÓN UV EN ARGENTINA: SU VÍNCULO CON LA NUBOSIDAD Y CON LOS FORZANTES CLIMÁTICOS DE GRAN ESCALA

Serena I. Sanchez^{1,2}, Josefina Blázquez^{1,2}, Vanesa Pántano^{1,2,3}

sisanchez@fcaglp.unlp.edu.ar

¹Grupo de Investigación en Clima, Variabilidad y Extremos (CLAVE). Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), UNLP

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), FCEN-UBA

Palabras clave: Radiación ultravioleta eritémica, TEMIS, índices de circulación.

1) INTRODUCCIÓN

La radiación ultravioleta (UV) tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales sobre la salud humana. En dosis moderadas, es esencial para la síntesis de vitamina D, pero una exposición excesiva conlleva un aumento del riesgo de enfermedades cutáneas, como el cáncer de piel, cuya incidencia ha crecido desde la década de 1970 (OMS, 2002). El impacto biológico de esta radiación se cuantifica mediante espectros de acción específicos, como el eritémico (McKinlay y Diffey, 1987), que permite calcular la dosis eritémica acumulada en un período de tiempo (DUVN, J/m²).

Diversos factores modulan la cantidad de radiación UV que alcanza la superficie: el ángulo cenital solar, el contenido de ozono, la nubosidad, los aerosoles, la altitud, la latitud, la época del año y el albedo superficial. Las nubes, en particular, tienen un efecto altamente variable. Si bien suelen reducir la irradiancia entre un 20% y un 70% en cielos cubiertos (Wolfram y otros, 2017), también pueden incrementarla hasta en un 30% bajo ciertas condiciones, fenómeno conocido como “efecto de realce” (Calbó y otros, 2005).

Si bien hay numerosos estudios en la literatura que relacionan los principales forzantes de gran escala con la variación de la precipitación y la nubosidad en el sur de Sudamérica (Silvestri y Vera, 2003; Mantua y Hare, 2002; Cai y otros, 2020), no se han encontrado estudios que vinculen dichos forzantes con la radiación UV en la región. Por esta razón, este trabajo tiene como objetivo analizar dicha relación, partiendo de la hipótesis de que la nubosidad está relacionada con los modos de variabilidad de la atmósfera que influyen en el clima del sur de Sudamérica y que, a su vez, la radiación UV se ve afectada por la nubosidad.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos diarios de radiación DUVN del servicio satelital *Tropospheric Emission Monitoring Internet Service* (TEMIS), para cinco localidades: La Quiaca, Salta, Córdoba, La Plata y Mar del Plata. Para evaluar la relación con la nubosidad, se utilizaron datos del reanálisis ERA5 con una resolución espacial de 0.25°×0.25°, complementados con observaciones satelitales del sensor *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES), cuya resolución espacial es de 1°×1°, y datos de superficie proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Los índices climáticos se obtuvieron del *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, <https://psl.noaa.gov>) y la *Universidade Federal de Itajubá* (UNIFEI, <https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indice?id=saodi>). El análisis se realizó entre los años 2005 y 2023.

Se estudió la variabilidad de la radiación UV a través del valor medio de DUVN en verano (diciembre-enero-febrero, DEF), otoño (marzo-abril-mayo, MAM) y primavera

(septiembre-octubre-noviembre, SON), estaciones en las que los niveles elevados de radiación suponen un mayor riesgo para la salud. Las correlaciones se estimaron mediante coeficientes de Pearson (para nubosidad) y Spearman (para índices climáticos) (Wilks, 2011). Las correlaciones con los índices climáticos se analizaron tanto de forma directa como con desfases temporales de uno a tres meses ("correlaciones lagueadas"), a fin de explorar posibles efectos diferidos de los forzantes climáticos sobre la variabilidad de la DUVN.

3) RESULTADOS

Con el objetivo de estudiar la relación entre la nubosidad y la DUVN, se calcularon los coeficientes de correlación y determinación para las cinco localidades durante los trimestres DEF, MAM y SON. A modo ilustrativo, se presentan en la Figura 1 los resultados de ERA5 correspondientes a Salta, Córdoba, La Plata y Mar del Plata. En verano, se identificaron correlaciones negativas entre la nubosidad (alta y baja) y la DUVN, lo que indica un efecto atenuante de ambos tipos de nubes, siendo más significativo en el caso de la nubosidad baja. En cambio, durante otoño y primavera, en Salta se observaron correlaciones positivas, aunque con bajos valores del coeficiente de determinación, lo que sugiere un posible aumento de la DUVN asociado a una mayor cobertura nubosa. Por su parte, en las estaciones del centro del país (Córdoba, La Plata y Mar del Plata), las correlaciones fueron predominantemente negativas para ambos tipos de nubosidad, lo que sugiere que en dichas localidades la nubosidad también podría actuar como atenuante de la DUVN en otoño y primavera. Los análisis realizados con los datos de CERES y del SMN presentaron resultados similares (no se muestran): en las localidades del centro se observaron correlaciones negativas entre la nubosidad y la DUVN en las tres estaciones analizadas, mientras que en Salta se registraron correlaciones positivas durante otoño y primavera.

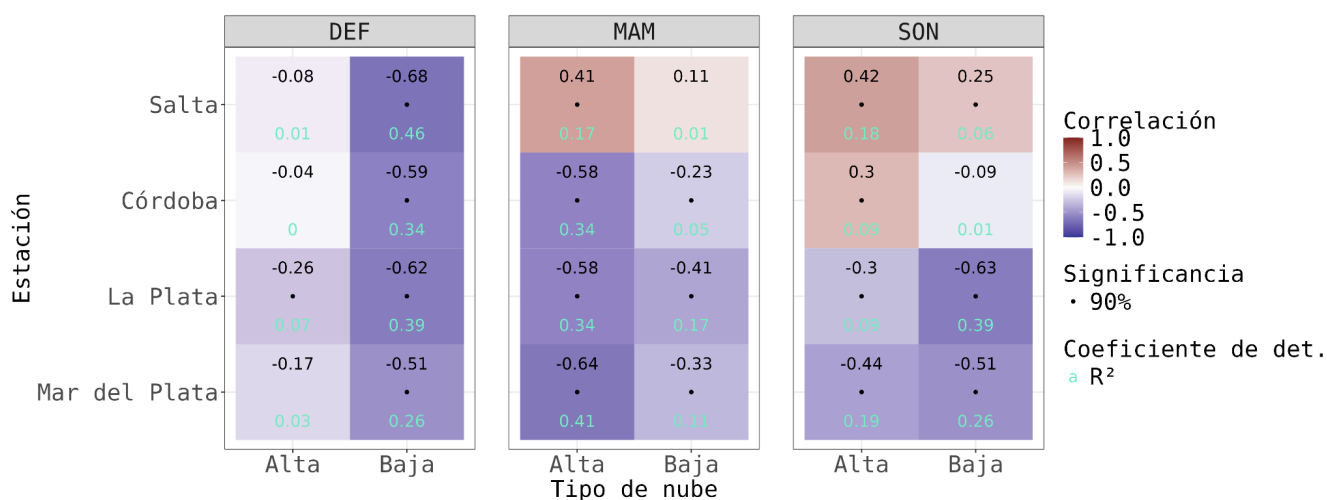


Figura 1: Correlación de Pearson (negro) y coeficiente de determinación (verde) entre la DUVN y la fracción de cobertura de nubes altas y bajas en La Quiaca, Salta, Córdoba, La Plata y Mar del Plata en el período 2005-2023, (a) DEF, (b) MAM y (c) SON. Correlaciones significativas (90%) con punto negro.

En relación con los forzantes climáticos, la Figura 2 presenta, a modo de ejemplo, los valores de correlación entre diversos índices climáticos y el valor medio estacional de la DUVN para las localidades de Salta y La Plata durante el trimestre MAM, destacándose numéricamente aquellas correlaciones estadísticamente significativas. Los índices PDO y ENSO mostraron correlaciones negativas, lo que sugiere, en el caso de la PDO, que las fases positivas (negativas) se asocian con menores (mayores) niveles de radiación UV en superficie. En el caso del ENSO, los mayores niveles de radiación UV están relacionados a la fase fría (La Niña), mientras que los menores se relacionan con la fase cálida (El Niño).

Por su parte, el SAM presentó una correlación lagueada positiva, lo que indicaría que su fase positiva, caracterizada por mayores presiones en latitudes medias, podría estar asociada a un incremento de la radiación UV en superficie. En contraste, los índices vinculados al Océano Índico, al Atlántico y la QBO no mostraron correlaciones significativas para estas dos localidades durante el trimestre considerado.

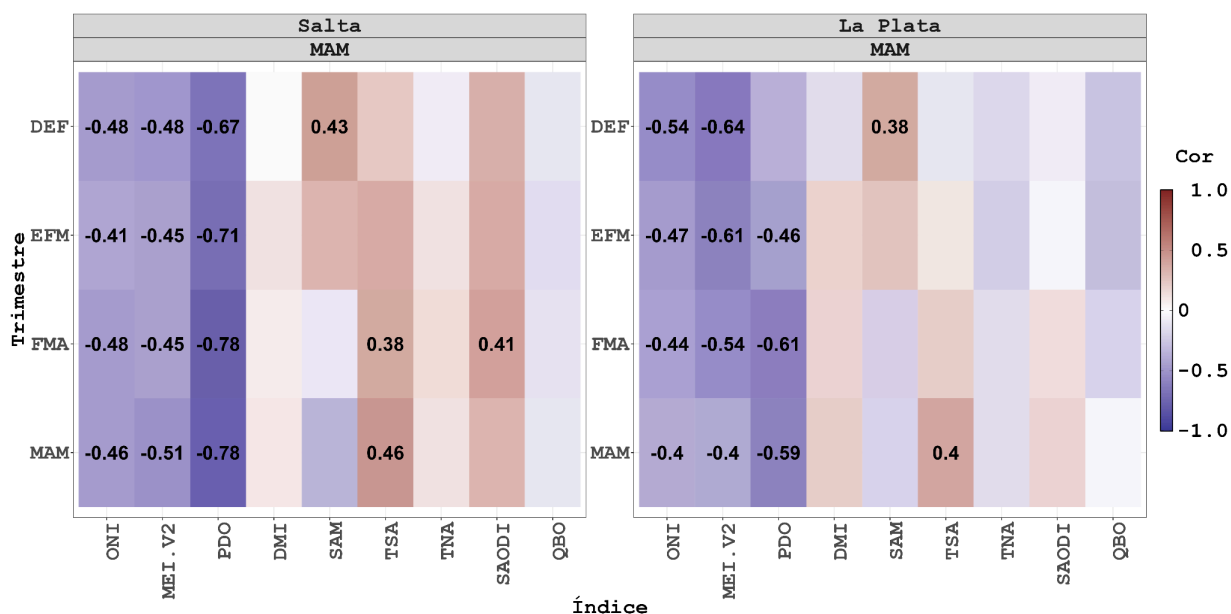


Figura 2: Correlación de Spearman entre los índices climáticos y la DUVN, directas y lagueadas (1 a 3 meses), para los trimestres DEF, MAM y SON. Correlaciones significativas (90%) con valor numérico.

4) CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que la variabilidad interanual de la radiación UV en algunas localidades de Argentina podría estar parcialmente modulada por la nubosidad y, por ende, por ciertos forzantes climáticos de gran escala, tales como el ENSO, la PDO y el SAM, donde la magnitud y el signo de estas relaciones varían según la región y la estación del año.

REFERENCIAS

- McKinlay, A.F. y Diffey, B.L. (1987):** A Reference Action Spectrum for Ultraviolet Induced Erythema in Human Skin. In: Passchier, W.F. and Bosnjakovic, B.F.M., Eds., Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Cai, W., McPhaden, M.J., Grimm, A.M. y otros (2020):** Climate impacts of the el niño–southern oscillation on south america. Nature Reviews Earth & Environment, 1(4):215–231.
- Calbó, J., Pages, D., y González, J.-A. (2005):** Empirical studies of cloud effects on uv radiation: A review. Reviews of Geophysics, 43(2).
- Mantua, N. J. y Hare, S. R. (2002):** The pacific decadal oscillation. Journal of oceanography, 58:35–44.
- Organización Mundial de la Salud -OMS- y otros (2002):** Global solar uv index: a practical guide. Technical report, World Health Organization.
- Silvestri, G. E. y Vera, C. S. (2003):** Antarctic oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern south america. Geophysical Research Letters, 30(21).
- Wilks, D. S. (2011):** Statistical methods in the atmospheric sciences, volumen 100. Academic press.
- Wolfram, E. A., Orte, F., Salvador, J., Quiroga, J., D’Elia, R., Antón, M., Alados Arboledas, L., y Quel, E. (2017):** Study of uv cloud modification factors in southern patagonia. En AIP Conference Proceedings, volumen 1810. AIP Publishing.