

Caracterización de la temperatura de bulbo húmedo como indicador de estrés térmico en el centro y norte de Argentina

Candela S Glatstein¹, Rocio Balmaceda-Huarte^{1,2}, M. Laura Bettolli^{1,2}

Resumen El estrés térmico afecta negativamente el bienestar de la población y sus actividades, es por eso que el análisis de tales condiciones se vuelve clave para proteger y prevenir los impactos relacionados con el calor. En este estudio se caracterizó la Temperatura de Bulbo Húmedo (TwMAX) en el centro-norte de Argentina para su empleo como variable indicadora del estrés térmico. Los resultados encontrados evidencian condiciones de mayor calentamiento en el centro-norte de Argentina con un crecimiento generalizado de la Tmax. Además, se identificaron tendencias en alza en la TwMAX durante el período analizado que sugieren que el aumento de la temperatura también se acompaña de condiciones más húmedas. Los hallazgos de este estudio refuerzan la necesidad de abordar las condiciones de estrés térmico en el centro-norte de Argentina como un enfoque multivariado.

INTRODUCCIÓN

Según el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), el continente sudamericano se encuentra altamente expuesto, vulnerable y fuertemente impactado por el cambio climático. En Argentina, el calentamiento global se refleja no solo en las tendencias al alza detectadas de temperaturas extremas, sino también en diferentes amenazas climáticas y su creciente frecuencia (Balmaceda-Huarte et al., 2022). Entre ellos se destacan los episodios de olas de calor persistentes, que se presentan con más frecuencia e intensidad en el centro y norte de Argentina (Rusticucci et al., 2017), la región más poblada y económicamente relevante del país. Estos eventos afectan directamente el bienestar y la salud humana, así como también la productividad laboral (Casanueva et al., 2020).

El estrés térmico en los seres humanos surge como consecuencia de la exposición al calor ambiental combinado con la producción interna de calor generada por los procesos metabólicos (Casanueva et al., 2020). La temperatura del aire es un aspecto fundamental para cuantificar este impacto, pero además se debe considerar el efecto de otras variables que acentúan el estrés térmico, principalmente la humedad, convirtiéndolo en un problema multivariante. Existen en la literatura una variedad de índices que permiten expresar el estrés térmico en función de las condiciones meteorológicas. Entre ellos, la temperatura de bulbo húmedo (Tw) es frecuentemente utilizada, ya que puede derivarse sencillamente a partir de la temperatura del aire y la humedad mediante ecuaciones termodinámicas. En los seres humanos, la Tw representa la temperatura mínima que se puede alcanzar mediante la evaporación del sudor. Por esto, el umbral de 35°C es crítico, ya que valores de Tw cercanos a la temperatura corporal ($\approx 37^\circ\text{C}$) pueden restringir significativamente la evaporación cutánea y, por lo tanto, el proceso natural de enfriamiento del cuerpo.

Los índices de estrés térmico han sido ampliamente estudiados en diferentes regiones del planeta e incluso incorporados en los sistemas de alarma en países como Suecia, Australia, Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, en Argentina la mayoría de los estudios se centran en la evaluación de índices climáticos extremos, las olas de calor o de frío, y pocos han abordado exhaustivamente la exploración de índices de estrés térmico, menos aún a nivel regional.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es caracterizar la Tw máxima diaria de verano y primavera

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina. Email: candeglatstein@gmail.com

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

en el centro y norte de Argentina para su utilización como variable indicadora de estrés térmico. Esto incluye la evaluación de aspectos climatológicos de T_w , así como también de las variables de las cuales se deriva (temperatura y humedad relativa), su variabilidad espacial y temporal.

DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos horarios de temperatura del aire (T_a) y temperatura de rocío (T_d) de 43 estaciones meteorológicas ubicadas en el centro y norte de Argentina (Figura 1). Estos datos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional. El período analizado corresponde a los años 1991-2020 en los trimestres de verano (DEF: Diciembre-Enero-Febrero) y primavera (SON: Septiembre-October-Noviembre).

La T_w máxima del día (T_wMAX) se utilizó como indicador del estrés térmico diario. La misma se estimó para cada día a partir de los datos de temperatura y humedad relativa (HR), pudiendo ésta última obtenerse de las variables T_a y T_d . Dado que era de interés utilizar datos en escala diaria, la T_wMAX se aproximó tomando la máxima T_a (T_{max}) y la HR media (HR_m) del día. Esta aproximación se consideró teniendo en cuenta futuras aplicaciones con otras bases de datos (e.g., simulaciones de modelos climáticos) donde usualmente el dato subdiario no está disponible.

En primer lugar, se analizaron los campos climatológicos de la T_wMAX en conjunto con las variables de las cuales se deriva (T_{max} y HR_m) para DEF y SON. También se exploraron los ciclos diarios medios de las estaciones meteorológicas ubicadas en ciudades y en las cercanías de éstas con el fin de evaluar el efecto de la ciudad en el índice T_wMAX . Por último, se analizaron las tendencias de T_wMAX y de las variables HR_m y T_{max} utilizando el test no-paramétrico de Mann-Kendall.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los valores de Kendall-Tau como representativos de las tendencias de las series obtenidas a partir de los promedios anuales del índice T_wMAX y de las variables HR_m y T_{max} diarias en todas las estaciones meteorológicas para DEF. T_wMAX presenta tendencias positivas en la mayoría de las estaciones, aunque significativas en aquellas que se ubican en la franja central del país y hacia el centro-este de Argentina (Figura 1). En el caso de la T_{max} , las tendencias positivas y significativas se extienden sobre casi todo el dominio, mientras que para la HR_m las tendencias observadas son negativas y significativas en algunas estaciones del centro de Argentina y cercanas a la cordillera de los Andes. Los resultados encontrados evidencian condiciones de mayor calentamiento en el centro y norte de Argentina, con un crecimiento de la T_{max} generalizado en todas las estaciones. Además, las tendencias en alza identificadas en T_wMAX durante el período analizado sugieren que el aumento de la temperatura también se acompaña de condiciones más húmedas. Esto está en línea con cambios no significativos en la HR_m en la mayoría de las estaciones, lo cual indica un aumento en la humedad absoluta para mantener constante la HR_m como resultado del incremento en la temperatura.

CONCLUSIONES

En este trabajo se caracterizó la T_w máxima diaria (T_wMAX) de verano y primavera en el centro y norte de Argentina con foco en su utilización como variable indicadora de estrés térmico. El análisis incluyó la evaluación de aspectos climatológicos de T_w como así también de las variables de las cuales se deriva (T_{max} y HR), su variabilidad espacial y temporal.

Los resultados obtenidos mostraron condiciones de mayor calentamiento en el centro-norte de Argentina, con un crecimiento generalizado de la T_{max} . Conjuntamente, se identificaron tendencias en alza para T_wMAX en la mayoría de las estaciones meteorológicas analizadas en ambas estaciones del año, señalando que el aumento de la T_{max} también está siendo acompañado de condiciones

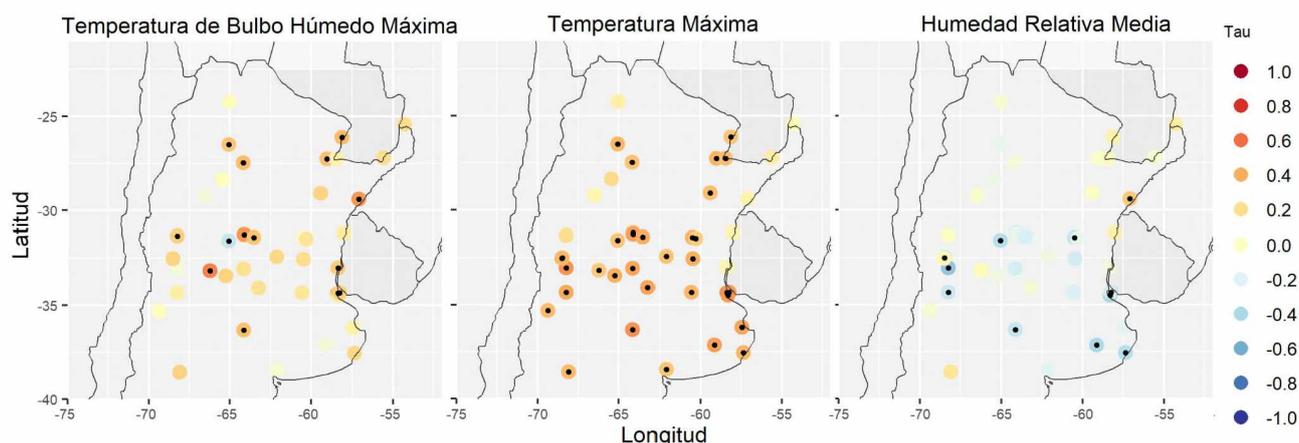


Figura 1. Mapa de las estaciones meteorológicas utilizadas coloreadas en función de los valores de Kendall-Tau (τ) considerando el período 1991-2020 y el trimestre DEF. Los valores con un nivel de significancia del 95 % están marcados con un asterisco.

más húmedas.

Los hallazgos de este estudio refuerzan la necesidad de abordar las condiciones de estrés térmico en el centro-norte de Argentina como un enfoque multivariado.

REFERENCIAS

- Balmaceda-Huarte, R. et al.** (2022). Evaluation of multiple reanalyses in reproducing the spatio-temporal variability of temperature and precipitation indices over southern South America. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.7142>
- Casanueva, A. et al.** (2020). Escalating environmental summer heat exposure—a future threat for the European workforce. *Regional Environmental Change*, 20, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01625-6>
- Rusticucci, M., Barrucand, M., & Collazo, S.** (2017). Temperature extremes in the Argentina central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology*, 37, 30–48. <https://doi.org/10.1002/joc.4895>