

TEMPERATURA VS. UTCI COMO PREDICTORES DE LA MORTALIDAD POR CALOR EN ROSARIO: EVALUACIÓN DE MODELOS LINEALES Y NO LINEALES

Agustina Lopez Ramirez^{1,2}, Mariana Barrucand^{1,2}, Soledad Collazo^{1,3}
alopez@at.fcen.uba.ar

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA

³Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, ESPAÑA

Palabras clave: Modelado estadístico, Salud, Extremos.

1) INTRODUCCIÓN

Las olas de calor y las altas temperaturas pueden tener efectos adversos en la salud humana, especialmente en entornos urbanos. El estrés térmico sobre las personas puede cuantificarse a través de índices de confort térmico, siendo el índice climático térmico universal (UTCI, por sus siglas en inglés) un indicador versátil para estudios epidemiológicos. En este trabajo se evalúan tres modelos que buscan predecir la mortalidad de la ciudad de Rosario, considerando como predictores variables meteorológicas y el índice UTCI. El objetivo es identificar el modelo estadístico y el predictor que ofrecen el mayor poder explicativo para caracterizar la relación entre las condiciones térmicas extremas y la mortalidad diaria en la ciudad.

2) DATOS Y MÉTODOS

Se utilizaron datos del índice UTCI máximo diario correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero, obtenidos de la base de datos ERA5-HEAT para el período 2005–2018. Además, se emplearon datos de temperatura máxima diaria (Tmax) y temperatura (T), temperatura media radiante (Tmrt), humedad relativa (HR) y velocidad del viento a 10 metros (W), extrapolada a partir de las componentes zonal (u) y meridional (v), a las 18hs UTC de ERA5 para el mismo periodo y meses del año. También se contó con una base de defunciones diarias para la ciudad de Rosario, provista por la Dirección de Estadísticas e Información en Salud del Ministerio de la Salud (DEIS), sometida a control de calidad con el fin de detectar posibles inconsistencias o errores.

Con el objetivo de evaluar la capacidad predictiva del UTCI y las variables meteorológicas sobre la mortalidad diaria, se aplicaron tres modelos estadísticos: Modelo Lineal Generalizado (GLM), Modelo Aditivo Generalizado (GAM) y Modelo No Lineal de Retardo Distribuido (DLNM). Cada modelo se aplicó por separado utilizando tres conjuntos de predictores: (1) el índice UTCI, (2) la temperatura máxima diaria (Tmax), y (3) las variables que componen el UTCI a las 18hs UTC (T, Tmrt, HR y W). En todos los casos se incluyeron desfases de hasta 7 días para capturar posibles efectos retardados, y se ajustaron términos para la estacionalidad, la variabilidad interanual y las tendencias de largo plazo.

Para validar los modelos, se dividió el periodo de estudio en dos: un subperíodo de entrenamiento (2005–2014), utilizado para ajustar los modelos, y un subperíodo de testeo (2015–2018), utilizado para evaluar su desempeño. Esta evaluación se realizó mediante distintas métricas: error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE), coeficiente de determinación (R^2), y los criterios de información AIC (Akaike) y BIC (Bayesiano).

3) RESULTADOS

Los resultados muestran que el desempeño del modelado depende tanto de predictores utilizados, como de los tipos de modelos aplicados. Al evaluar el impacto de la inclusión de diferentes predictores en los modelos, se observa que los errores absolutos no presentan grandes cambios; no obstante, los modelos que incluyen solo el UTCI como predictor tiende a obtener mejores resultados. En todos los casos, el modelo GAM presentó los errores más bajos, mientras que el DLNM mostró los valores más altos, aunque las magnitudes fueron similares entre modelos: los RMSE oscilaron entre 6.5 y 8, y los MAE entre 5.5 y 6. En este sentido, la diferencia entre el mejor modelo (GAM con UTCI) y el de peor desempeño (DLNM con temperatura máxima) fue baja en términos absolutos.

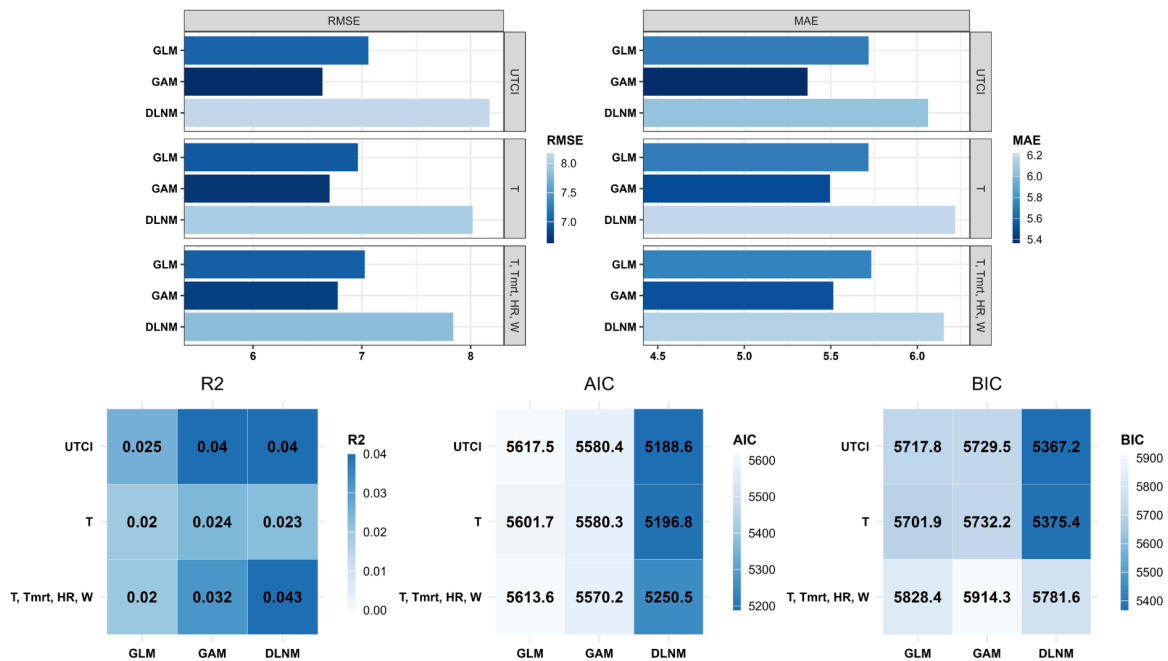


Figura 1. RMSE, MAE, R^2 , AIC y BIC de la mortalidad diaria estimada por los modelos GLM, GAM y DLNM con los predictores UTCI, temperatura máxima y las variables que componen el UTCI en el conjunto de validación (2015-2018). Tonos más oscuros indican un mejor desempeño del modelo.

En cambio, el coeficiente de determinación (R^2) permitió diferenciar mejor el poder explicativo de los modelos. Tanto el UTCI como las variables individuales que lo componen alcanzaron R^2 más altos en comparación con la temperatura máxima, especialmente en los modelos GAM y DLNM. Este resultado indica que los modelos que utilizan el UTCI capturan mejor la variabilidad de la mortalidad diaria, lo que resalta su valor como predictor frente al uso exclusivo de la temperatura.

Por último, las métricas AIC y BIC, que miden el ajuste penalizando la complejidad del modelo, mostraron diferencias más destacables entre los tipos de modelo. El DLNM se destacó por alcanzar los valores más bajos de AIC y BIC, lo que indica un mejor equilibrio entre ajuste y complejidad en comparación con los modelos GLM y GAM. Entre los predictores, el UTCI volvió a mostrar mejor desempeño, obteniendo los AIC y BIC más bajos. En contraste, los modelos que utilizaron separadamente las variables que componen el UTCI presentaron valores más altos de estas métricas, probablemente debido al aumento en la cantidad de predictores y, por ende, de la complejidad del modelo, que el BIC penaliza con mayor severidad.

Con el fin de evaluar el desempeño de los modelos en una situación de temperaturas extremas, con gran riesgo de mortalidad, se compararon las predicciones de mortalidad durante la ola de calor más extensa de Rosario, ocurrida en diciembre de 2013 (Figura 2). Los

resultados del estudio muestran que el modelo DLNM con el índice UTCI como predictor fue el único que logró estimar adecuadamente el aumento de mortalidad asociado a este evento extremo. En contraste, los modelos que utilizaron la temperatura máxima como predictor subestimaron considerablemente los valores observados, mostrando limitaciones para capturar el impacto real de las temperaturas extremas sobre la salud.

Por otro lado, si bien el modelo GAM con el índice UTCI logró aproximarse al valor de mortalidad observado durante el pico, su predicción no fue tan precisa como la del modelo DLNM. Sin embargo, ambos modelos superaron ampliamente al GLM, que no logró capturar adecuadamente el incremento abrupto en la mortalidad. Esta diferencia pone en evidencia la importancia de incorporar procesos no lineales en los modelos.

Asimismo, el desempeño del DLNM que utilizó como predictores las variables que componen el UTCI tampoco alcanzó el mismo nivel de precisión que el DLNM con el UTCI. Esto sugiere que el índice, al integrar múltiples variables meteorológicas en una sola, capta relaciones complejas entre las variables que son difíciles de representar cuando se modelan las variables por separado (T, Tmrt, HR y W), aunque se incluyan conjuntamente en el modelo. En este sentido, los resultados refuerzan el valor del UTCI como un predictor más adecuado para estudiar el impacto de las olas de calor en la mortalidad, frente al uso aislado de la temperatura.

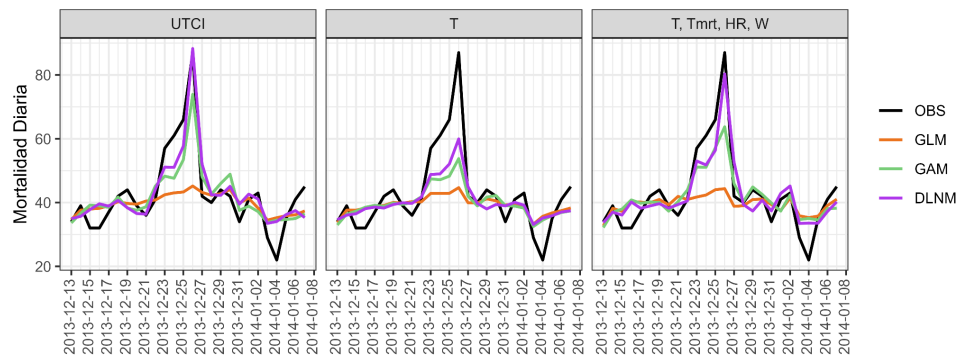


Figura 2. Mortalidad diaria observada (negro) y estimada por los modelos GLM (naranja), GAM (verde) y DLNM (violeta) con los predictores UTCI (izquierda), temperatura máxima (centro) y las variables que componen el UTCI (derecha) durante la ola de calor de diciembre del 2013 en Rosario.

4) CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que el índice UTCI es un predictor más robusto que la temperatura máxima para estimar el impacto de las temperaturas extremas en la mortalidad diaria. Aunque las diferencias en los errores absolutos entre predictores fueron pequeñas, el UTCI demostró un mejor desempeño general, especialmente cuando fue incorporado en el modelo DLNM, logrando un buen balance entre la precisión y la complejidad. Estos hallazgos destacan la utilidad del UTCI y del DLNM como herramientas clave para estudios de salud y clima frente a eventos extremos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por los proyectos PICT2019-2019-02933, CONICET PIP 0333 (2021-2023), UBACyT 20020220200111BA, proyecto SAFETE, financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, según el acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie n° 847635 (UNA4CAREER)