

SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES DE SUPERFICIE A LOS PARÁMETROS MORFOLÓGICOS EN EL MODELO WRF: UNA APLICACIÓN SOBRE EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

Luis Muñoz^{1,2,3}, Lluís Fita^{1,2,3}, Andrea Carril^{1,2,3}, Federico Robledo^{1,2,3}

luis.munoz.pabon@cima.fcen.uba.ar. Autor correspondiente.

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

² Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), CONICET-UBA, Argentina

³ Instituto Franco-Argentino Para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI), UBA-CONICET-CNRS-IRD, Buenos Aires, Argentina

Palabras clave: Modelado Climático Urbano, Parámetros de Dosel Urbano, Ola de Calor

1) INTRODUCCIÓN

La rápida urbanización de la población mundial es uno de los principales problemas actuales. Mientras las ciudades crecen en extensión y densidad, demandan más recursos, concentran actividades económicas, y su población se vuelve más vulnerable, especialmente a riesgos hidrológicos y a los efectos del cambio climático (Masson et al., 2020). Afrontar estos retos requiere de medidas complejas que consideren la diversidad y características de los ambientes urbanos y su interacción con el clima a diferentes escalas (Langendijk et al., 2024).

Argentina es un caso de estudio particular al ser uno de los países más urbanizados del mundo. Según el último censo, el 92% de la población reside en áreas urbanas. El Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) alberga el 36% de la población total del país, convirtiéndose en el tercer conglomerado urbano más grande de Latinoamérica (INDEC, 2024). Su densidad poblacional incrementa la vulnerabilidad del AMBA a eventos climáticos extremos, como las olas de calor, cuyos efectos se magnifican por el fenómeno de Isla Urbana de Calor (UHI), disparidades sanitarias y desigualdades sociales (Camilloni & Barrucand, 2012). Sin embargo, los procesos del clima urbano en el AMBA se mantienen inexplorados, especialmente en términos de la morfología de pequeña escala y la representación del área urbana en los modelos. A tal fin, evaluar el desempeño de modelos climáticos como el Weather Research and Forecasting (WRF) en el ambiente urbano del AMBA es esencial. Estudios previos han analizado la sensibilidad del modelo WRF a diferentes configuraciones en diversos ambientes urbanos (Luque et al., 2023; Wu et al., 2023), remarcando el impacto de las parametrizaciones físicas y la representación de la morfología urbana. Los esquemas físicos han sido ampliamente estudiados, pero la caracterización de los ambientes urbanos a través de Parámetros de Dosel Urbano (UPCs, por sus siglas en inglés) aún requiere un análisis exhaustivo (Wu et al., 2023).

Este estudio busca abordar esta problemática con la mejora de la categorización morfológica del AMBA a través de Zonas Climáticas Locales (LCZ) y evaluando la sensibilidad de WRF a cambios en los UCPs durante un evento de ola de calor del 4 al 12 de diciembre de 2022.

2) MÉTODOS Y RESULTADOS

2.1. Mejora de la clasificación de las Zonas Climáticas Locales (LCZs)

Motivados por las limitaciones de los mapas globales y públicamente disponibles de las LCZ, en este estudio se recopiló toda la información local relevante para mejorar el mapa de LCZ para el AMBA, tal como se ha hecho en diferentes ciudades del mundo (e.g. Masson et al., 2020). Se focalizó en características urbanas como la morfología, parámetros arquitectónicos,

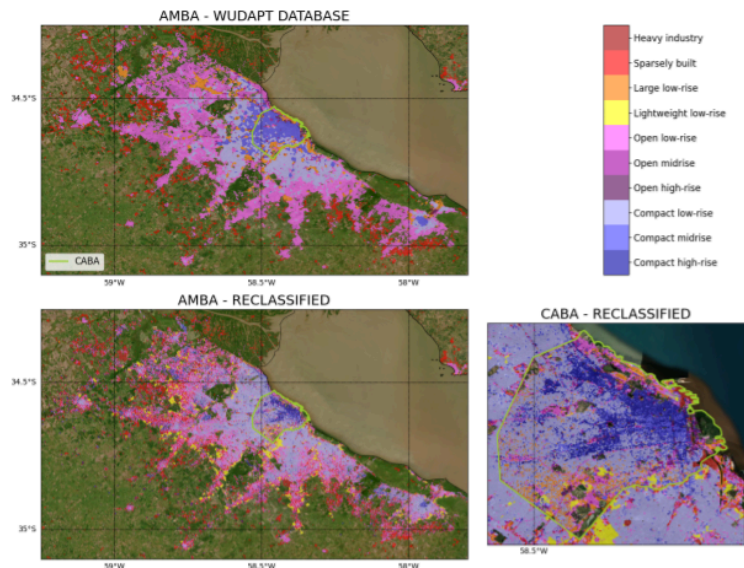


Figura 1. Resultado de la reclasificación de los datos WUDAPT. Panel superior: clasificación de LCZs original de WUDAPT (resolución 100 m). Panel inferior: clasificación de LCZs refinada tras la reclasificación con datos in situ para AMBA y CABA.

factores socioeconómicos, y vegetación urbana, que fueron recopilados de bases de datos públicas del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA), el Instituto Geográfico Nacional (IGN), y el Portal Nacional de Datos Públicos (datos.gob.ar).

El proceso de reclasificación fue implementado usando Python, comenzando con el archivo GeoTIFF a 100 metros de una base de datos global (WUDAPT; Brousse et al., 2016). La mayoría de las 10 categorías LCZ se derivan de los datos de altura y densidad de edificios.

El proceso de reclasificación derivó en una base de datos, mostrada en la Figura 1 (Muñoz et al., 2025), que ofrece una representación más detallada de la estructura urbana, captando variaciones más sutiles en la altura y densidad de los edificios. La inclusión de la categoría LCZ 7 (barrios populares informales: 'tipo villas') es una mejora clave de la reclasificación ya que nos permite identificar la porción de la población potencialmente más vulnerable.

2.2. Análisis de Sensibilidad a los Parámetros de Dosis Urbana (UCPs)

Los UCPs describen la geometría y propiedades físicas de la morfología urbana, incluyendo la distribución espacial, forma, tamaño, y composición de materiales de los edificios, así como las actividades antropológicas como el consumo de electricidad y el uso de aire acondicionado. Dadas las dificultades para definir con precisión los UCPs, el objetivo de este estudio es evaluar la sensibilidad del modelo a variaciones menores de los parámetros. Esto se desarrolla bajo la hipótesis de que la respuesta del modelo sea identificable, pero acotada.

Se evaluaron 17 parámetros a través de 19 experimentos que fueron comparados contra una simulación de control y la variabilidad interna del modelo que se obtuvo de 3 experimentos

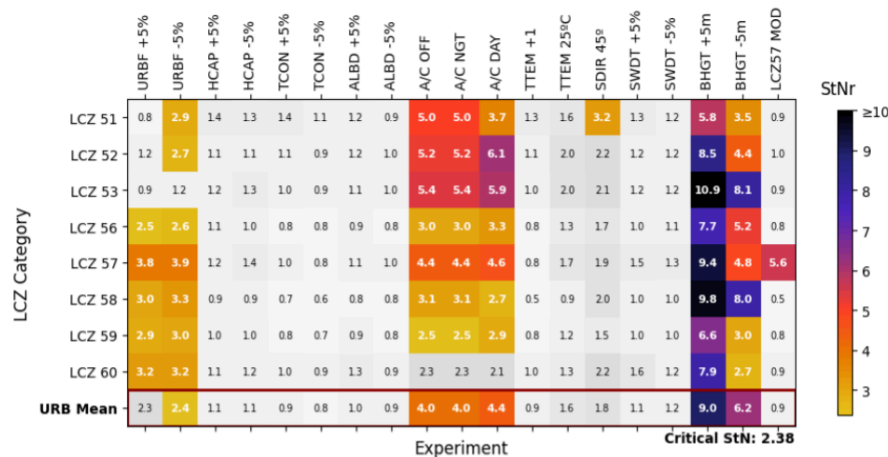


Figura 2. Matriz del percentil 75th del StNr para T2, las filas representan las LCZ y las columnas los experimentos evaluados. La última fila muestra el valor medio para todas las LCZ. Los valores inferiores a 2,38 aparecen en gris (insignificancia estadística con el 95% de confianza).

lagueados. Para determinar si el modelo era sensible a los cambios, se utilizó la ecuación del Signal-to-Noise ratio (StNr; Tovar et al., 2022), donde la señal se representa como la diferencia entre el experimento evaluado y la simulación control; y el ruido proviene de la

desviación estándar de los experimentos lageados. La significancia estadística de la señal se deriva de un test t de Student, que constituye un umbral de significancia. El resultado de esta ecuación de StNr, aplicada en cada paso de tiempo, es una serie de valores adimensionales. El análisis se realizó sobre el valor del percentil 75th de cada serie. Si este valor excede el umbral de significancia, indica que la señal es distinguible del ruido para al menos el 25% del periodo de simulación. La Figura 2 muestra un resumen de estos resultados.

De los experimentos analizados, los que se relacionan a los cambios en: la Fracción Urbana (URBF), el uso del Aire Acondicionado (A/C) y la Altura de Edificios (BHGT) son los que presentan los valores de señal más significativos en todas o la mayoría de categorías de LCZs. Adicionalmente, los experimentos de Orientación de Calles (SDIR) y la modificación de la LCZ relacionada a las 'villas' (LCZ57 MOD) solo presentan señal en un LCZ. Este resultado se esperaba en el experimento LCZ57 MOD, pero para SDIR, sugiere que la modificación de este UCP solo sería notable en zonas de edificios altos y compactos (LCZ 51).

Cuando sea posible, todos los UCP deberían ser revisados en detalle para minimizar la incertidumbre en las simulaciones climáticas urbanas. Sin embargo, cuando esto no es posible los esfuerzos deberían centrarse específicamente en la recolección de información sobre los parámetros que presentan mayor sensibilidad.

REFERENCIAS

- Brousse, O., Martilli, A., Foley, M., Mills, G., & Bechtel, B. (2016).** WUDAPT, an efficient land use producing data tool for mesoscale models? Integration of urban LCZ in WRF over Madrid. *Urban Climate*, 17, 116–134. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.04.001>
- Camilloni, I., & Barrucand, M. (2012).** Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(1–2), 47–58. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0459-z>
- INDEC. (2024).** Región Metropolitana Buenos Aires (Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022., p. 56). Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). https://censo.gob.ar/wp-content/uploads/2024/09/censo2022_rmba.pdf
- Langendijk, G. S., Halenka, T., Hoffmann, P., ... Yuan, J. (2024).** Towards better understanding the urban environment and its interactions with regional climate change—The WCRP CORDEX Flagship Pilot Study URB-RCC. *Urban Climate*, 58, 102165. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102165>
- Luque, S. E., Fita, L., & Pineda Rojas, A. L. (2023).** Performance evaluation of the WRF model under different physical schemes for air quality purposes in Buenos Aires, Argentina. *Atmósfera*, 38, 235–262. <https://doi.org/10.20937/ATM.53255>
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J. (2020).** Urban Climates and Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 411–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623>
- Muñoz, L. E., Fita, L., & Carril, A. F. (2025).** LCZ Map of the Metropolitan Area of Buenos Aires (AMBA) [Dataset]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.15271368>
- Tovar, C., Carril, A. F., Gutiérrez, A. G., Ahrends, A., Fita, L., ... Hollingsworth, P. M. (2022).** Understanding climate change impacts on biome and plant distributions in the Andes: Challenges and opportunities. *Journal of Biogeography*, 49(8), 1420–1442. <https://doi.org/10.1111/jbi.14389>
- Wu, M., Dong, M., Chen, F., & Yang, X. (2023).** Impacts of Urbanization and Its Parameters on Thermal and Dynamic Fields in Hangzhou: A Sensitivity Study Using the Weather Research and Forecasting Urban Model. *Land*, 12(11), 1965. <https://doi.org/10.3390/land12111965>