XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Incidência da morfologia urbana no conforto térmico exterior: análise experimental de dois cânions urbanos em Montevidéu

Incidencia de la morfología urbana en el confort térmico exterior: Análisis experimental de dos cañones urbanos en Montevideo

Incidence of urban morphology on outdoor thermal comfort: Experimental analysis of two urban canyons in Montevideo

Clima e planejamento urbano / Clima y planificación urbana / Climate and urban planning

Pereira Ruchansky, Lucía
Arquitecta, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, lpereira@fadu.edu.uy

Gutierrez Bazterrica , Lucía

Arquitecta, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, lugutib@gmail.com

USP ufsicar IAU USP FAUUSP

Resumo

As condições morfológicas e materiais do entorno urbano e dos elementos que compõem o espaço urbano têm impacto nas condições microclimáticas de estes espaços e, portanto, no conforto dos pedestres. O objetivo deste trabalho foi a caracterização microclimática de dois cânions urbanos (CU) no centro da cidade, cuja principal diferença é sua relação H/W, e a avaliação do conforto térmico externo. Isso foi feito por meio de medições in-situ e análise das categorias de conforto térmico de acordo com o indicador UTCI. Observou-se que o CU com menor relação H/W apresentou temperaturas mais altas e maior tempo nas categorias de estresse térmico, como consequência da maior exposição à radiação solar. Os resultados demonstram o impacto das decisões de desenho urbano sobre a habitabilidade da cidade e a necessidade de incorporar a dimensão do conforto no planejamento urbano.

Palavras-chave: Microclima. Conforto térmico externo. UTCI. Morfologia urbana. Desenho urbano.

Resumen

Las condiciones morfológicas y materiales de la envolvente urbano-edilicia y de los elementos que conforman el espacio urbano impactan en las condiciones microclimáticas de los espacios urbanos y, por tanto en el confort de los peatones. Este trabajo tuvo como objetivo la caracterización microclimática de dos cañones urbanos (CU) del centro de la ciudad, cuya principal diferencia es su relación H/W, y la evaluación del confort térmico exterior. Se realizó mediante mediciones in-situ y análisis de las categorías de confort térmico según el indicador UTCI . Se observó que el CU con menor H/W presentó mayores temperaturas y mayor tiempo en categorías de estrés por calor, como consecuencia de una mayor exposición a la radiación solar. Los resultados demuestran el impacto que tienen las decisiones de diseño urbano en la habitabilidad de la ciudad y la necesidad de incorporar la dimensión de confort en la planificación urbana.

Palabras clave: Microclima. Confort térmico exterior. UTCI. Morfología urbana. Diseño urbano.

Abstract

The morphological and material conditions of the building and urban envelope, and of the elements that constitute the urban space, have an impact on the microclimatic conditions of urban spaces and, therefore, on the comfort of pedestrians. This work aimed to characterize the microclimatic conditions of two urban canyons (CU) in the city downtown, whose main difference is their H/W ratio, and to evaluate the outdoor thermal comfort. This was done by in-situ measurements and analysis of thermal comfort categories according to the UTCI indicator. It was observed that the CU with lower H/W presented higher temperatures and longer time in heat stress categories, as a consequence of higher exposure to solar radiation. The results show the impact of urban design decisions on the habitability of the city and the need to incorporate the comfort dimension in urban planning.

Key words: Microclimate. Outdoor thermal comfort. UTCI. Urban morphology. Urban design.

Introducción

La agenda para el desarrollo sostenible pone en relevancia las problemáticas que atraviesan hoy los entornos construidos a nivel urbano, edilicio y social. En este sentido, el consumo energético de los edificios, la pobreza energética y el fenómeno de cambio climático al que asistimos, se presentan como importantes desafíos para el entorno construido (Santamouris, 2016, p. 2). Además, las proyecciones de aumento de población urbana y la reciente situación pandémica de COVID-19 ponen en cuestionamiento el diseño de las ciudades, evidenciando la necesidad de evaluar la densidad, el acceso a espacios abiertos y aire fresco, desde un abordaje de justicia social, habitabilidad y resiliencia (Nikolopoulou, 2021, p. 55).

Numerosos estudios han demostrado cómo las ciudades alteran los balances energéticos, generando transformaciones respecto a los climas locales. El fenómeno más estudiado es el de isla de calor, definido por la diferencia de temperatura entre las áreas urbanas y rurales circundantes (Makar et al., 2006, p. 2750). Las causas de este fenómeno son el calor antropogénico, la falta de vegetación, la reducción del flujo de aire, la geometría de las superficies urbanas y las propiedades térmicas y radiativas de los materiales de construcción, que influyen en el almacenamiento y liberación de energía térmica de la ciudad (Mills et al., 2021, p. 23). Este fenómeno es aún más problemático cuando se analiza en contexto de Cambio y Variabilidad Climática (CVC), con escenarios de aumentos de temperatura y eventos extremos (Fernandez García et al., 2016, p. 49).

La vivencia del espacio público está estrechamente vinculada al confort térmico que se experimenta. Sin embargo, es un enfoque poco explorado en el diseño urbano del siglo XXI. Una de las principales condiciones para alcanzar el confort es el equilibrio térmico entre el individuo y su entorno. La transferencia de calor del cuerpo al medio ambiente se da por radiación (45%), convección (30%) y evaporación (25%), aunque estas proporciones varían ampliamente dependiendo de las condiciones del entorno (Nikolopoulou, 2021, p. 56). En estos intercambios, los parámetros ambientales que intervienen son: temperatura, humedad y movimiento de aire, y el ambiente radiante.

Estos parámetros, en un cañón urbano (CU), están condicionados por la morfología y materialidad circundante, que determinan el acceso a la radiación solar, las interacciones y reflexiones, y los movimientos de aire. Por tanto, la complejidad de los intercambios energéticos que se dan en el espacio urbano hace necesarios estudios particulares para los diferentes climas locales y morfologías urbanas.

Objetivos

El presente trabajo tiene por objetivo caracterizar el microclima de dos cañones urbanos (CU) del área central de la ciudad de Montevideo con diferentes características morfológicas, a partir de mediciones de campo, y evaluar el impacto de las condiciones microclimáticas de cada CU en el confort higro-térmico de los peatones.

Metodología

El trabajo fue realizado de forma experimental, se seleccionaron dos CU ubicados en el área central de Montevideo, uno sobre la calle Minas (CU Minas) y otro sobre la calle Dr. Juan A. Rodríguez (CU Rodriguez) que se muestran en la figura 1, ubicados a una distancia de 865 m entre sí (figura 2). Ambos CU tienen similar orientación (predominante norte-sur), baja o nula presencia de árboles, y similares terminaciones materiales. Se contabilizaron 9 aires acondicionados (AA) en el CU Minas y 118 en Rodríguez. Además de esto, la principal diferencia que presentan es la relación entre la altura (H) y el ancho de calle (W) y el Factor de cielo visto (SVF, por sus siglas en inglès), siendo en Minas H/W de 0,4 y SVF de 50%; y en Rodriguez un H/W de 2,7 y un SVF de 16%. En cada CU se realizaron mediciones horarias de temperatura del aire (T aire) y humedad relativa (HR) con hobos EXTECH RHT10, adicionalmente se registraron con frecuencia horaria, la temperatura de globo con una esfera de vernon con hobos EXTECH RHT10 en su interior y la velocidad del viento (V viento) con anemómetro de cazoletas NAVIS, en CU Minas del 20 al 26 de Diciembre de 2022 y en CU Rodriguez del 8 al 14 de Enero del 2023. Respecto a la variable de condiciones de cielo se tomaron los datos de la estación meteorológica de Carrasco y se establecieron 5 categorías que agrupan las que utiliza el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) (1 Chubasco con granizo o de lluvia, llovizna, lluvia, relámpago, tormenta; 2 cielo cubierto; 3 bruma, niebla; 4 cielo nuboso y cumulonimbos; 5 cielo despejado).

Para la evaluación del confort térmico peatonal se aplica el índice de confort térmico universal (UTCI por sus siglas en inglés) de acuerdo a la ecuación de regresión disponible en UTCI [1], la cual integra las variables: T aire a 2 m del nivel de suelo, diferencia entre la temperatura radiante media (TMR) y la T aire, HR a 2 m del nivel de suelo y V viento a 10 m sobre el nível

1 Página de inicio de UTCI. Disponible en: http://www.utci.org . Consultado: 11 de febrero de 2025.

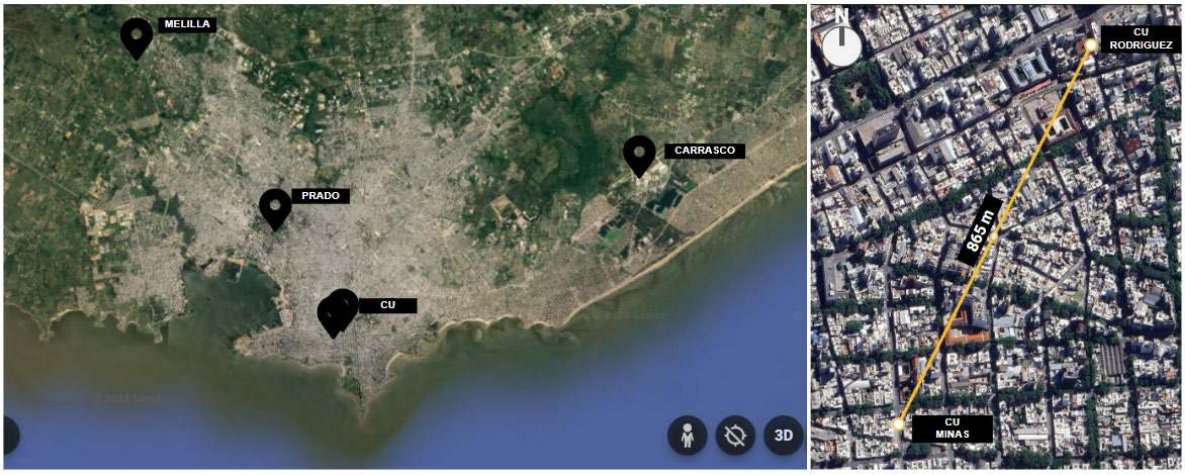
de suelo. La TMR se calcula de acuerdo a la norma ISO 7726 (ISO, 1998, p. 20), a partir de los valores simultáneos de temperatura de globo, de la T aire y V viento que rodea al globo.

Figura 1: Planta y vistas de los dos cañones urbanos estudiados



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Ubicación de puntos de medición estudiados (a) en el plano de Montevideo (b) zona centro de la ciudad y distancia entre cañones urbanos



(a) (b)

Fuente: Elaboración propia.

Por seguridad de los equipos las mediciones se realizaron a 4 m sobre el nivel de suelo, por lo que difieren de las alturas recomendadas para UTCI. Para la T aire y HR, así como para el cálculo de la TMR se utilizan directamente los registros obtenidos. Para la variable viento se considera el factor de escala propuesto por Bröde et al. (2011,p. 491), para ajustar a 10 m de altura.

Dado que la V viento no se obtuvo de forma simultánea en ambos CU, se verificaron la similitud en las condiciones de T aire, HR y V viento en la estación de INUMET Carrasco para

los períodos medidos, de forma que los resultados obtenidos fueran comparables. Se identificó que entre los días de mediciones en cada CU, el día 21/12 de los registros en CU Minas es el que tiene mayor correlación en las diferentes variables con los días 8/01, 9/01 y 10/01 de los registros en CU Rodriguez. Se encuentra una correlación R2 de 0,9 para la variable de T aire, entre 0,6 y 0,7 para la HR y entre 0,6 y 0,8 para la V viento.

Resultados

Caracterización microclimática de los CU

En la figura 3 se presentan los registros de variación horaria de la T aire y las condiciones de cielo para los dos CU. En términos generales se puede observar que las dos localizaciones presentan diferencias en sus registros de T aire, manteniendo durante todo el período de medición el CU Minas temperaturas superiores a las del CU Rodriguez.

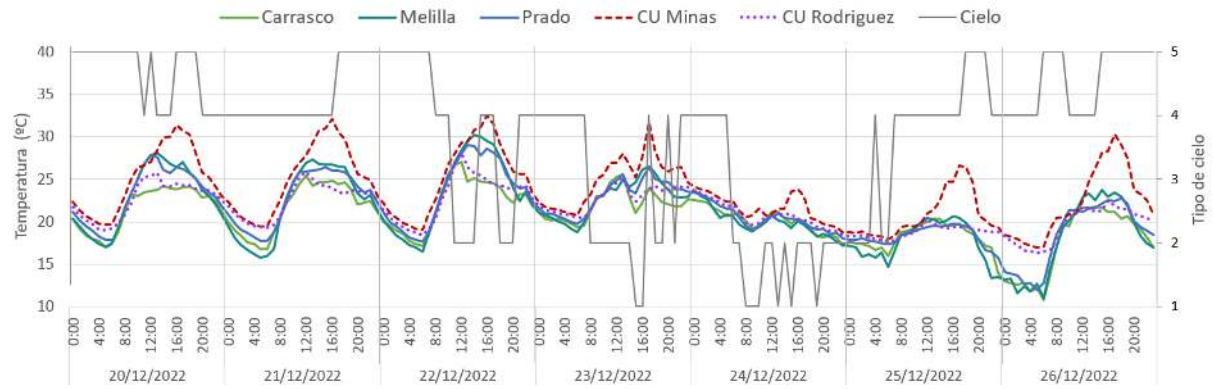
Se observó que la diferencia de temperatura entre los CU se incrementa durante las horas diurnas, alcanzando el CU Minas los máximos registros de T aire diarios, con diferencia entre los CU de entre 4,2ºC y 8,4ºC. A partir de la caída del sol, las T aire en los CU comienzan a aproximarse, aunque en el CU Minas continúa siendo levemente superior, con diferencias inferiores a 1,5ºC. La máxima temperatura registrada en CU Minas fue de 37,3ºC, mientras que en CU Rodriguez fue de 28,9ºC, la T aire mínima registrada en CU Minas fue de 22,0ºC y en CU Rodriguez de 21,9ºC. Adicionalmente, se observa que CU Minas se caracteriza por una mayor amplitud térmica diaria, la diferencia entre las T aire máximas y mínimas en promedio es de 11,4ºC, mientras que en CU Rodriguez es de 5,9ºC.

En relación a la HR, se identificó un comportamiento inverso al de las T aire. CU Rodriguez registra durante todo el período niveles superiores a los de CU Minas, con diferencias en sus máximas de entre 6,6ºC y 20,7ºC y en sus mínimos de entre 1,4ºC y 10,2ºC. La V viento, cómo se mencionó, no fue registrada simultáneamente en ambos cañones. Los resultados obtenidos en CU Minas muestran velocidades medias entre 0 m/s y 1 m/s y en CU Rodríguez las velocidades medias variaron entre 0,6 m/s y 2 m/s. A pesar de las diferencias obtenidas en ambos CU, los valores de V viento medio presentan niveles considerados confortables para las actividades en la vía pública de acuerdo a Lawson (1978, p.103).

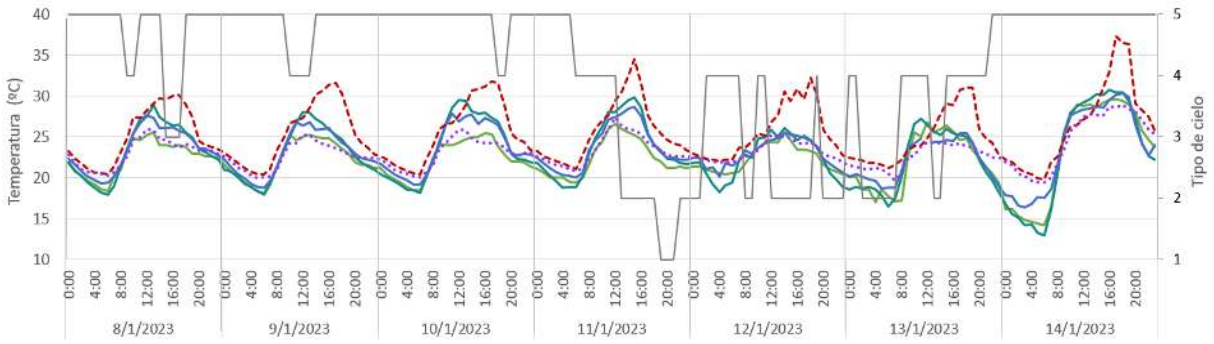
En relación a los registros de INUMET en el CU de Minas, las T aire son superiores al de las de la red de estaciones tanto en el día como en la noche, constatándose el fenómeno de isla de

calor urbana diurna y nocturna. Por su parte, el CU Rodriguez, permanece mayor tiempo diario en sombra y el fenómeno de isla de calor urbana se produce únicamente en las noches cuando las T aire superan las de las estaciones de INUMET.

Figura 3: Registro de T aire (a) 20 al 26 de diciembre de 2022, (b) 8 al 14 de enero de 2023



(a)



(b)

Fuente: Elaboración propia.

Confort térmico exterior

Se presenta el análisis del índice UTCI para el periodo de medición en cada CU. Se muestra en primer lugar el resumen horario de los parámetros ambientales que se registraron y que tienen incidencia para el cálculo. Una vez calculado el indicador se analizan los periodos horarios y el porcentaje de tiempo en que se alcanzan las diferentes categorías de estrés térmico, para ello se consideran dos escalas temporales: comportamiento diario, y entre las 8 h y las 18 h, por entender que en este período se da el mayor uso del espacio público en esta zona céntrica de la ciudad y coincidente con las horas de radiación solar.

CU Minas

Como se observa en las figuras 4 y 5, para los días 20 a 22/12 la sensación térmica de "neutralidad o sin estrés térmico" varía entre el 50% y 54% del día, y se da entre las 21 h y las

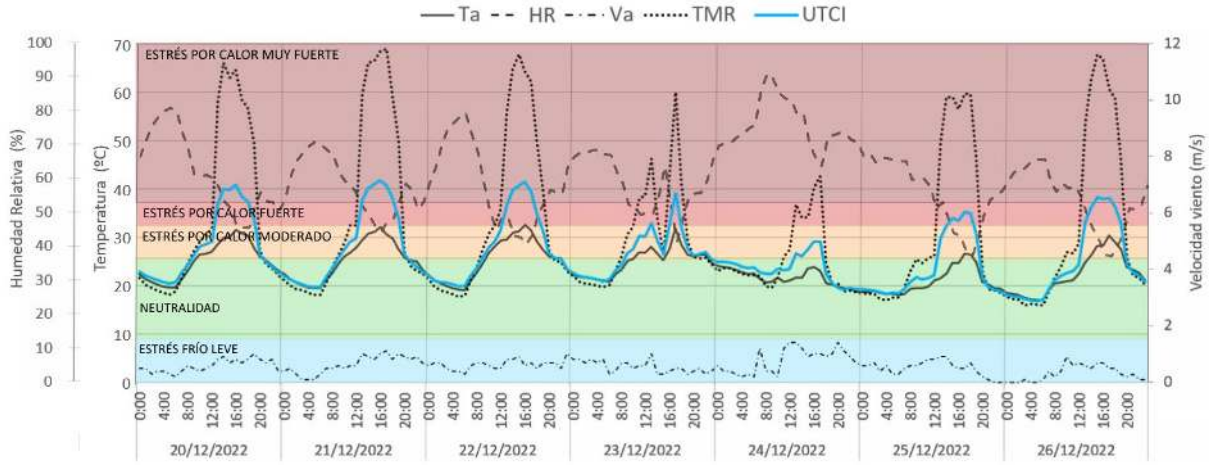
9 h. El porcentaje restante diario se distribuye en las categorías de estrés por calor de la siguiente forma: "estrés por calor moderado" (entre 17% y 21%, entre las 9 h y las 12 h y a las 20 h); "estrés por calor fuerte" (a las 13 h y entre las 18 h y 19 h); "estrés por calor muy fuerte" (entre 17% y 21%, produciéndose entre las 14 h y 18 h), coincidiendo con las horas en que se registran las mayores T aire, las mayores TMR y los menores niveles de HR. Los niveles mínimos diarios de UTCI para estos días son de entre 19,6ºC y 20,4ºC (registrados a las 5 h) y los máximos diarios entre 40,8ºC y 41,7ºC (registrados a las 16 h).

Si consideramos únicamente el periodo horario de 8 h a 18 h, el porcentaje de tiempo en "neutralidad o sin estrés térmico" se reduce considerablemente a un 9% o 18%. El tiempo en "estrés por calor moderado" aumenta a un 36% o 27%, a la categoría "estrés por calor fuerte" le corresponde un 18% o 9%, mientras que "estrés por calor muy fuerte" alcanza el 36% o 45% según el día. Es decir, que en el horario de mayor uso de la vía pública la sensación térmica de los usuarios se encuentra entre un 72% y 81% del tiempo en situación de estrés por calor en sus diferentes intensidades, con un peso significativo de la categoría "estrés por calor muy fuerte".

Los días 23/12 y 24/12 se descartan para el análisis de UTCI por ser días con presencia de lluvia por lo cual se considera que afecta el intercambio de calor. En los días posteriores (25/12 y 26/12) hay cambios importantes en el comportamiento del ambiente térmico, alcanzando un 71% de tiempo en la sensación térmica de "neutralidad o sín estrés térmico". Mientras que, si consideramos el periodo de 8 h a 18 h, el porcentaje de tiempo en "neutralidad o sin estrés térmico" se reduce al 45% y "estrés por calor fuerte" aumenta al 45%.

Del periodo analizado, los mínimos niveles de UTCI se producen en horas de la madrugada. Los mayores niveles se registran entre las 14 h y las 18 h, alcanzando el nivel de "estrés por calor muy fuerte" coincidiendo con las horas de T aire y TMR más altas, menores niveles de HR, con valores de diferencia de TMR-T aire de entre 27,5ºC y 39,1ºC.

Figura 4: Registro de las variables medidas in situ y valor de UTCI para el periodo de medición



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Distribución porcentual de las categorías de UTCI por día, (a) 24 horas (b) entre las 8 h y las 18 h



(a) (b)

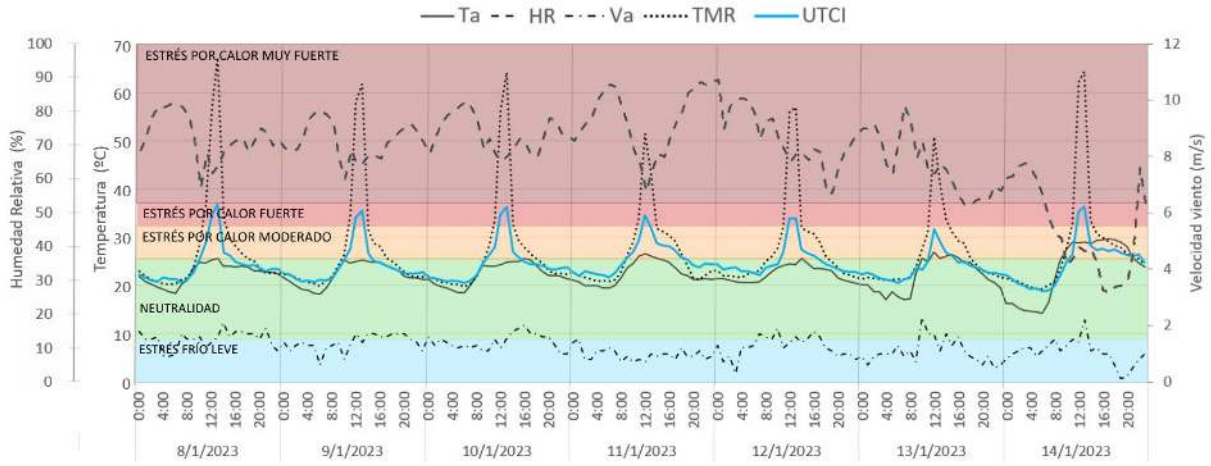
Fuente: Elaboración propia.

CU Rodriguez

Para el CU de Rodriguez se estudió el periodo del 8/1 al 14/1, figura 6 y 7. Para los tres primeros días con predominancia de cielo despejado, el porcentaje de tiempo en que la sensación térmica es de “neutralidad” varía entre el 79% y 83% del día, correspondiendo a las horas de la mañana y de las 15 h o 16 h en adelante. El porcentaje restante del tiempo diario se distribuye de la siguiente forma: “estrés por calor moderado” entre 8% y 13% (10 h y 11 h y a las 14 h y 15 h); “estrés por calor fuerte” 18% (12 h y 13 h). Los niveles mínimos diarios de UTCI para estos días son de entre 20.4ºC y 20.7ºC (entre las 5 h y 7 h) y los máximos diarios entre 35,4ºC y 36,9ºC (a las 13 h).

Si consideramos únicamente el periodo horario de 8 h a 18 h, el porcentaje de tiempo en "neutralidad" se reduce a un 55% o 64%. El tiempo en "estrés por calor moderado" aumenta a un 18% o 27%, y la categoría "estrés por calor fuerte" a un 18%. Para este CU la sensación térmica de los usuarios en situación de estrés por calor en sus diferentes intensidades nunca supera el 45% del tiempo.

Figura 6: Registro de las variables medidas in situ y valor de UTCI para el periodo de medición



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Distribución porcentual de las categorías de UTCI por día, (a) 24 horas (b) entre las 8 h y las 18 h



(a) (b)

Fuente: Elaboración propia.

El día 14/01 también con cielo despejado pero con diferentes condiciones de temperatura, HR y viento, registra un menor porcentaje de tiempo en la categoría de "neutralidad" con un 54% correspondiendo a las horas de la mañana y luego a las 21 h y 23 h. El resto del tiempo se distribuye en un 17% en "estrés por calor moderado", y un 8% "estrés por calor fuerte" a las 12 h y 13 h. En el horario de 8 h a 18 h, el porcentaje de tiempo en estrés por calor es superior,

correspondiendo 27% del tiempo a “neutralidad”, el tiempo en “estrés por calor moderado” un 55% y el tiempo en “estrés por calor fuerte” un 18%.

Los días 11, 12 y 13/1, con condiciones predominantes de cielo cubierto, el tiempo diario de “neutralidad o sín estrés térmico” varía entre el 67% y 83% del día. El porcentaje restante del tiempo diario se distribuye de la siguiente forma: la sensación de “estrés por calor moderado” (entre 17% y 29%) en las horas previas y posteriores al mediodía; La categoría de “estrés por calor fuerte” tiene entre 4% y 8% a mediodía. En estos días se registran los mínimos diarios de UTCI más altos (22,0ºC, 22,1ºC y 20,6 ºC) y los menores valores máximos diarios (34,5ºC, 33,9ºC y 31,6 ºC). Para el horario entre las 8 h y las 18 h, el porcentaje de tiempo en “neutralidad o sín estrés térmico” varía entre 27% y 64%, el tiempo en “estrés por calor moderado” entre 36% y 64% y el tiempo en “estrés por calor fuerte” representa entre 0% y 9%.

Para este CU y durante este período no hay registros en la categoría de “estrés por calor muy fuerte”. Los máximos niveles de de estrés son por calor fuerte alcanzando niveles de UTCI entre 33,9ºC y 36,9ºC, estos niveles coinciden con las horas en que se registran simultáneamente las mayores temperaturas del aire (entre 25ºC y 27.8ºC) y las mayores TMR (entre 51,5ºC y 67,5ºC), siendo las diferencias entre TMR y T aire de entre 30,2ºC y 41,5ºC y con V viento promedio que no superan los 2m/s, y niveles de HR entre 38,9% y 67,7%. Con similares valores de T aire, HR y V viento y menores TMR disminuye la categoría de estrés térmico. En el ciclo de 24 h, todos los días el porcentaje de tiempo “sin estrés térmico” es superior a 54%. Si se analiza el horario de 8 h a 18 h, esta categoría varía entre un 27% y un 64% del tiempo.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudiaron dos CU con similares características en cuanto a su materialidad, ubicación en el entorno urbano y orientación, siendo la cantidad de AA y la morfología, o más precisamente la relación H/W la característica más distintiva entre ellos. La investigación realizada permitió constatar que la morfología urbana tiene incidencia sobre las características microclimáticas de los dos cañones estudiados, identificando diferencias en el comportamiento de las variables climáticas evaluadas respecto a las estaciones de INUMET, pero también entre sí, resultando destacable siendo que se encuentran a 865 m de distancia.

Si comparamos los CU entre si, vemos que el porcentaje de tiempo diario en las distintas categorías de estrés térmico es diferente, pudiendo atribuir estas diferencias a las características morfológicas que presenta cada uno. En el CU Minas, que tiene una relación H/W menor, con mayor incidencia de la radiación solar directa y menor cantidad de AA, se registran períodos más largos en las categoría de estrés por calor fuerte, alcanzando además una categoría superior ("estrés por calor muy fuerte") que en el CU Rodriguez. Siendo CU Minas el que registra las temperaturas y categorias de estres mas altas, se constata que el aporte de radiación solar resulta mas significativo que el aporte de calor de los AA. Vale mencionar que la presente investigación presenta la limitación de que no se logró medir de forma simultánea la V viento en ambos CU, por lo que los periodos para el cálculo de UTCI fueron distintos en cada CU, sin embargo como se mencionó antes los periodos considerados presentan días con las variables climáticas en rangos similares, lo que permite el estudio comparativo presentado.

Los resultados confirman el peso preponderante que tiene la TMR sobre el índice del confort térmico UTCI, y su relación con la morfología urbana. En el alcance de este trabajo se logra identificar la clara relación con la incidencia de la radiación solar directa, siendo una línea para continuar este trabajo la evaluación de la incidencia de la radiación de onda larga sobre la TMR en espacios urbanos.

Se destaca además, que las mayores categorías de estrés térmico por calor coinciden con las horas de mayor uso del espacio público e incidencia de la radiación solar directa. Estos resultados reafirman la necesidad de incorporar en el diseño del espacio público estrategias de sombreamiento y atención a las características materiales que ayuden a controlar la TMR. Por lo que trabajos futuros que estudien el impacto de la materialidad de la envolvente en estos espacios urbanos en combinación con las distintas morfologías, aportarán a la mejora de los espacios públicos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad de la República (UdelaR) por la financiación. Al Área de Clima y Confort y Licenciatura de Diseño Integrado (FADU-UdelaR), y al Ing. Agr. (MSc.) Emilio Terrani por facilitar los equipos para las mediciones.

REFERENCIAS

BRÖDE, Peter et al. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, vol. 56, no. 3, p. 481-494, 31 May 2011. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1 . Consultado: 11 de febrero de 2025.

FERNÁNDEZ GARCÍA, Felipe et al. **ESTUDIO DE DETALLE DEL CLIMA URBANO DE MADRID . Madrid**: , 2016 [s. n.]. 215 p. Disponible en: https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/AccionClimatica/2EstudiosInventarios/4cEstuClimaUrb/Ficheros/EstuClimaUrbaMadWeb2016.pdf

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726: ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. [S. l.: s. n.], 1998.

LAWSON, T. V. The wind content of the built environment. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, vol. 3, no. 2-3, p. 93-105, Jan. 1978. Disponible en: https://doi.org/10.1016/0167-6105(78)90002-8. Consultado: 12 Feb. 2025.

MAKAR, P. A., GRAVEL, S., CHIRKOV, V., STRAWBRIDGE, K. B., FROUDE, F., ARNOLD, J., & BROOK, J. Heat flux, urban properties, and regional weather. **Atmospheric Environment**, v. 40, i.15, p 2750-2766, 2006. DOI 10.1016/j.atmosenv.2005.11.061

MILLS, G., FUTCHER, J., & STEWART, I. D. The Urban Heat Island: Its Energetic Basis and Management. n: Palme, M., Salvati, A. (eds) **Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies**. Springer, Cham, 2021. cap 3, p. 23-53. DOI 10.1007/978-3-030-65421-4_3

NIKOLOPOULOU, M. (2021). Thermal Comfort in Urban Spaces. In: Palme, M., Salvati, A. (eds) **Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies**. Springer, Cham, 2021. cap 4, p. 55–77. DOI 10.1007/978-3-030-65421-4_4

SANTAMOURIS, M. Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change. **Solar Energy**, v.128, p.61–94, Abr.2016. DOI 10.1016/j.solener.2016.01.021.