

Islas de calor urbano y vulnerabilidad social: una mirada integral y estrategias de adaptación desde la arquitectura y el urbanismo

Urban heat islands and social vulnerability: a comprehensive approach and adaptation strategies from architecture and urban planning

Macarena Belén Bressán , Giuliana Beatriz Beltramone , Diego Hernán Pons , Lucas Gabriel Vanoli Faustini 

Instituto de Investigación en Desarrollo Sostenible, Universidad Blas Pascal, Córdoba, Argentina.

macarena.bressan@unc.edu.ar

RESUMEN

La Isla de Calor Urbano (ICU) asociada a los recientes fenómenos de calor extremo, trae consigo consecuencias sociales, económicas y ambientales. Incrementan el consumo energético y la contaminación del aire, agua y suelo, disminuyendo la calidad de vida de la población y representando un riesgo para la salud, en especial de sectores sociales vulnerables. Se presenta un trabajo de investigación de carácter interdisciplinario, con una mirada integral sobre las ICU desde las carreras de Gestión Ambiental, Arquitectura y Urbanismo. Se estudia el caso del Área Metropolitana de la Ciudad de Córdoba, Argentina.

El trabajo se concentra en tres ejes: la definición de mapas de amenaza mediante el aprovechamiento de recursos satelitales, la determinación del Índice de Vulnerabilidad Social (IVSD) y la definición de estrategias de capacidad adaptativa basadas en la naturaleza. Representa un ejemplo de aprovechamiento de recursos tecnológicos en pos de un diseño arquitectónico y urbano asertivo.

ABSTRACT

The Urban Heat Island (UHI) associated with recent extreme heat events brings social, economic, and environmental consequences. It increases energy consumption, air, water and soil pollution, decreasing the quality of life for the population and health risk, especially for vulnerable social sectors. This research presents an interdisciplinary study with a comprehensive approach to UHIs from the perspectives of Environmental Management, Architecture, and Urban Planning. The case study focuses on the Metropolitan Area of Córdoba City, Argentina. The work concentrates on three axes: defining threat maps through the use of satellite resources, determining the Social Vulnerability Index (SVI) and definition of adaptive capacity strategies based on nature. It represents an example of leveraging technological resources for assertive architectural and urban design.

PALABRAS CLAVE: Diseño Sustentable, Capacidad Adaptativa, Soluciones Naturales, Tecnologías Aplicadas, Cambio Climático.

KEYWORDS: Sustainable Design, Adaptive Capacity, Natural Solutions, Applied Technologies, Climate Change.

FECHA DE RECEPCIÓN: 30/08/2024 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 22/11/2024

INTRODUCCIÓN

La Isla de Calor Urbana (ICU) es un fenómeno específico que se refiere al aumento de la temperatura en las ciudades en comparación con las zonas rurales circundantes o espacios naturales. Es un fenómeno que está directamente relacionado a las transformaciones del territorio. Los procesos de urbanización modifican las características de la superficie terrestre y de la atmósfera local mediante la transformación de sus propiedades radiativas, térmicas y aerodinámicas dando como resultados ambientes urbanos más cálidos (Oke 1982; Kalnay & Cai, 2003; Souch & Grimmond, 2006).

Existen diversos factores que influyen en el fenómeno de la ICU, el aumento de la densidad edilicia y de las superficies no absorbentes es uno de ellos. Esto se debe a que los materiales que se utilizan en las construcciones y las grandes superficies pavimentadas o herméticas son grandes acumuladores y retardadores de calor por su masa (Chiarito, G., & Chiarito, E. 2019; Maristany et al., 2022)

La disposición y altura de los edificios pueden influir en la ventilación y la dispersión de calor. La pérdida del entorno vegetal natural, intra y periurbano, también se traduce en un incremento en las temperaturas. Finalmente, una serie de factores relacionados a la actividad del hombre en las ciudades actúan de manera sinérgica para acentuar el efecto ICU. El uso masivo del automóvil, así como la liberación de calor por la industria o por los mismos sistemas de refrigeración, generan energía y calor adicional en las ciudades.

Las ICU pueden ocurrir a diferentes escalas: alrededor de un edificio, un barrio o en un área extendida de la ciudad. Las condiciones que implican el aumento de la temperatura, así como los efectos de la misma representan un riesgo directo sobre la salud de los habitantes de las ciudades.

Se definen cuatro tipos de ICU en función de la distancia a la que se mide la temperatura con respecto a la superficie: las Islas de Calor Urbanas Superficiales (ICUS), Islas de Calor Urbanas Atmosféricas (ICUA), Islas de Calor Urbanas de la Capa de Dosis (CLUHI), y la Isla de Calor Urbana de la Capa Límite (BLUHI). Cada tipo de ICU tiene sus implicancias en la planificación urbana, la salud pública y las estrategias de mitigación del cambio climático. En esta presentación se trabaja con los valores de la Isla de Calor Superficial (ICUS), a la que nos referiremos en adelante (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017).

Las ICUS se refieren concretamente a la diferencia de temperaturas en las superficies y son causadas principalmente por la capacidad térmica de los materiales, se asocia este factor a la capacidad reflectante, siendo las superficies menos reflectantes las que acumulan más calor.

Durante el verano de 2023-2024, se registraron temperaturas extremas en Argentina, lo que resalta la frecuencia de las olas de calor y el impacto de las ICU. El último informe del Grupo de Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC, por sus siglas en inglés) pronostica que se verá aún más incrementada durante los próximos 80 años entre 8 y 39 veces, según cuáles sean los niveles futuros de emisiones de gases de efecto invernadero.

Es una realidad que los efectos del fenómeno generan más discomfort en el periodo estival, los fenómenos de cambio climático, las temperaturas extremas y las islas de calor actúan de manera sinérgica, amplificando los efectos de cada uno.

En Argentina, se han realizado estudios comparativos sobre ICUS y su variabilidad espacio-temporal (Lozada Montanari & Camilloni, 2022), pero la mayoría se han centrado en caracterizar los cambios de temperatura, los mismos no consideraron como los impactos o los riesgos de las ICUS afectan de manera dispar a la población de las ciudades. Un reciente estudio en la ciudad de Córdoba considera que los sectores socioeconómicos más vulnerables suelen carecer de acceso a parques, aire acondicionado y servicios de salud, lo que las hace más susceptibles a los efectos de las ICUS (Vanoli et al 2024).

El presente trabajo de investigación realizado entre docentes e investigadores de las carreras de Gestión

Ambiental y Arquitectura de la Universidad Blas Pascal de la ciudad de Córdoba, se enmarca en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (OSD) 2030 (Naciones Unidas, 2015). En el marco climático actual, al menos dos ODS se asocian con la mitigación de problemas en áreas metropolitanas: el Objetivo 11, "Hacer que las ciudades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles", y el Objetivo 13, "Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos".

METODOLOGÍA

Con el objetivo de definir estrategias asertivas para la mitigación de los efectos de la isla de calor superficial en la ciudad de Córdoba, se encuadra la investigación en base a tres ejes:

- La definición y caracterización de la amenaza.
- La definición del índice de vulnerabilidad social.
- Una primera aproximación a estrategias de capacidad adaptativa > basadas en la naturaleza.

Los primeros dos ejes responden a una instancia de diagnóstico y el tercero define la base para plantear estrategias de adaptación.

Para el cálculo de la amenaza, se utilizaron índices tales como el Urban Heat Island, derivados del procesamiento de imágenes satelitales Landsat-8 disponibles en la plataforma Google Earth Engine (GEE).

La vulnerabilidad se calculó a partir del Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres (IVSD) (FADU, 2015), teniendo en cuenta datos demográficos, económicos y de infraestructura, de la Encuesta Permanente de Hogares y Censos de Población, hogares y viviendas (INDEC, 2010).

Asimismo, para definir y caracterizar las posibles estrategias de capacidad adaptativa nos basamos en un análisis de casos locales identificados a partir de la lectura de las imágenes satelitales.

Se caracterizan a nivel general la influencia de los elementos urbanos de gran escala, como parques autopistas o el río, y se profundiza sobre la mitigación de los efectos de las ICUS que es posible a partir del diseño de los corredores urbanos, se trata de diseños basados en la naturaleza y los ecosistemas.

Área de estudio

El caso de estudio de esta investigación es el Area Metropolitana de la Ciudad de Córdoba (AMC). Se utilizaron los límites urbanos obtenidos del Geoportal del Ministerio de Economía y Gestión Pública de la provincia de Córdoba. La región de interés resultante se puede ver en naranja en la Figura 1.

La ciudad de Córdoba está altamente urbanizada con una superficie de 576 km² que se encuentra entre 306 y 480 m sobre el nivel del mar. La última consulta de censo oficial de 2022 (INDEC, 2022) indicó que hay 1.565.112 habitantes en la ciudad y más de 400.000 en su región metropolitana.

El clima de la ciudad es templado con una precipitación media anual de 694 mm principalmente entre octubre y marzo. Las temperaturas son muy variables entre estaciones y se define el período más cálido entre noviembre y marzo.

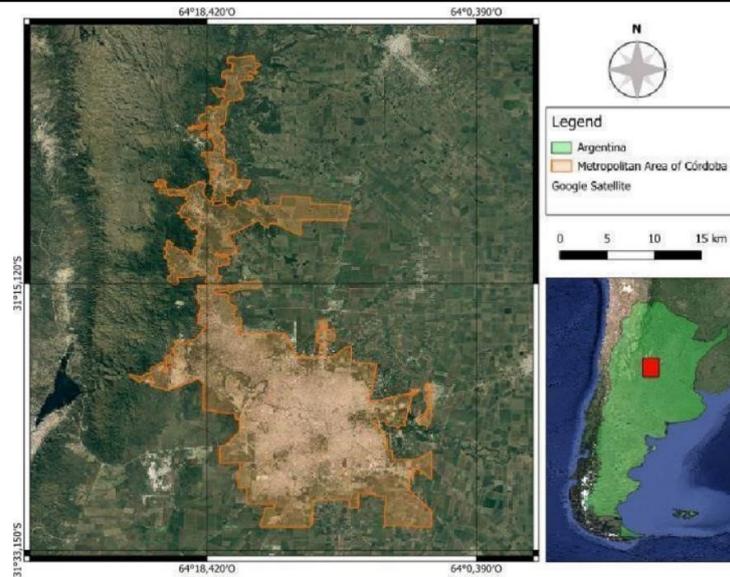


Figura 1: Ubicación geográfica de Córdoba y definición de su Área Metropolitana.

Fuente: *Elaboración propia.*

DESARROLLO

Caracterización de la amenaza

La obtención de los valores de temperatura de la superficie se realizó mediante mapeos con herramientas geoespaciales. Para ello se procesaron datos de productos satelitales en plataformas que posibilitan el acceso y manipulación de grandes volúmenes de datos.

La colección Landsat C02/T1 L2 disponible en GEE contiene datos de temperatura de superficie terrestre derivada de los datos producidos por los sensores Landsat 8 OLI/TIRS cada 16 días. Los valores de temperatura de superficie tienen resolución espacial de 30m de pixel.

Entre todos los datos disponibles de 2020 a 2023, se seleccionaron las imágenes con menos del 5% de cobertura de nubes para la temporada de primavera y verano del hemisferio sur (octubre a marzo). La colección final contiene un total de 20 imágenes. Las imágenes Landsat-8 se adquieren aproximadamente a las 10:30 am. Esta información es crítica al evaluar la evolución de la ICUS a lo largo del día y analizar los resultados.

Si bien la teledetección ofrece una cobertura espacial y temporal completa que no es posible conseguir mediante las mediciones que se obtienen de estaciones meteorológicas, también presenta sus limitaciones. Como bien fue mencionado anteriormente, las imágenes de mayor resolución espacial son adquiridas por el Sensor Landsat-8 TIRS a las 10:30 am, con lo cual el diagnóstico térmico de la ciudad se limita a las horas en las que no es crítico el calor. La Fig. 2 muestra una tabla comparativa del promedio anual de temperatura entre los productos (de izquierda a derecha) Landsat-8, MODIS TERRA y MODIS AQUA. MODIS TERRA posee una resolución espacial de 1km de pixel, y es adquirido a las 10:30 am, con lo cual sus resultados son comparables con los obtenidos por Landsat.

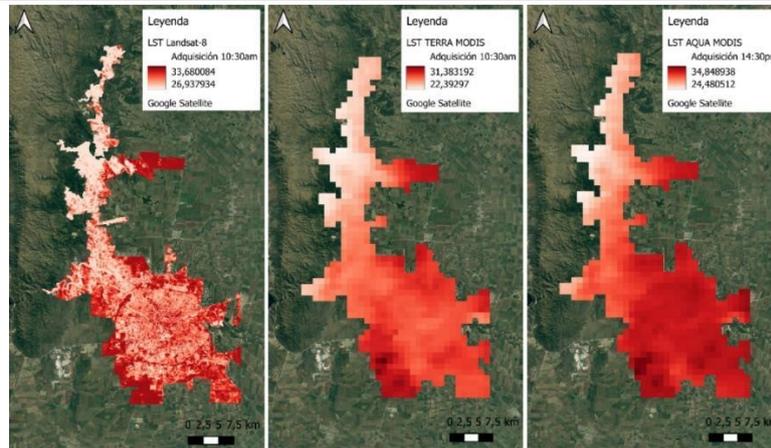


Figura 2: Comparación entre imágenes procesadas desde LST Landsat-8 y LST TERRA MODIS

Fuente: *Elaboración propia.*

Si bien como definimos anteriormente las temperaturas en las ICUS se definen de manera concéntrica con niveles mayores en el centro que en el contacto con las zonas rurales, a las 10.30 am el efecto es el contrario ya que durante la noche los materiales de la ciudad liberan la energía calórica y se enfrían, las primeras superficies que se calientan en la mañana son aquellas más expuestas en las que impacta la radiación solar, es el caso de superficies abiertas de campos aledaños a la ciudad, grandes superficies de autopistas y terrenos descampados.

La tercera imagen corresponde al producto de MODIS AQUA, también de 1km de resolución, adquiere imágenes a las 14:30 pm aproximadamente. En este caso, se puede observar el incremento de temperatura en la zona urbana a medida que avanza el día.

Es por ello que dependiendo del objeto de estudio es necesario seleccionar que producto satelital se adapta a nuestras necesidades ya que no siempre es compatible un producto con alta resolución espacial y la hora de adquisición deseable.

Consideración de la vulnerabilidad social en el diseño de las ciudades

Para poder definir estrategias de diseño urbano acertadas es necesario reconocer que las ICUS afectan de manera heterogénea a distintos sectores de la población. Los índices de vulnerabilidad social son herramientas utilizadas para evaluar la resiliencia de las comunidades a los peligros ambientales mediante la cuantificación de la vulnerabilidad social. Los estudios de segregación residencial socioeconómica en Córdoba indican auto correlación espacial entre grupos de personas con características socioeconómicas similares. Para la definición de los IVS y la definición de los mapas que permitan comparar la información, nos basamos en la clasificación que ofrecen el Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres (IVSD) en el marco del proyecto UBACYT – PDTs-PF01 desarrollado entre los años 2013 y 2015.

Cada variable de vulnerabilidad se normalizó según Natenzon, C. E. & Gonzalez S. G. (2010) y se extrajeron los datos por radio censal de la Encuesta Permanente de Hogares y el Censo de Población, Hogares y Viviendas (2010) realizado por el INDEC. A partir de esta información se crearon los mapas de vulnerabilidad y mapas de riesgo.

El IVSD se mide en función de los siguientes valores:

Tabla 1: Variables consideradas en el IVSD.

Dimensiones	Condiciones sociales		Condiciones de la vivienda		Condiciones económicas		
Variables	Educación	Demografía	Vivienda	Servicios básicos	Trabajo	Educación	Familia
Condiciones	Nivel de analfabetismo en mayores de 10 años	Edades de menos de 14 y más de 65 años	Hacinamiento Acceso a agua potable.	Acceso a sistema de cloacas.	Personas entre 14 y 65 años desempleados.	Nivel educativo máximo de jefes de hogar	Hogares sin cónyuge

Fuente: Elaboración propia. Basada en CNPHV.

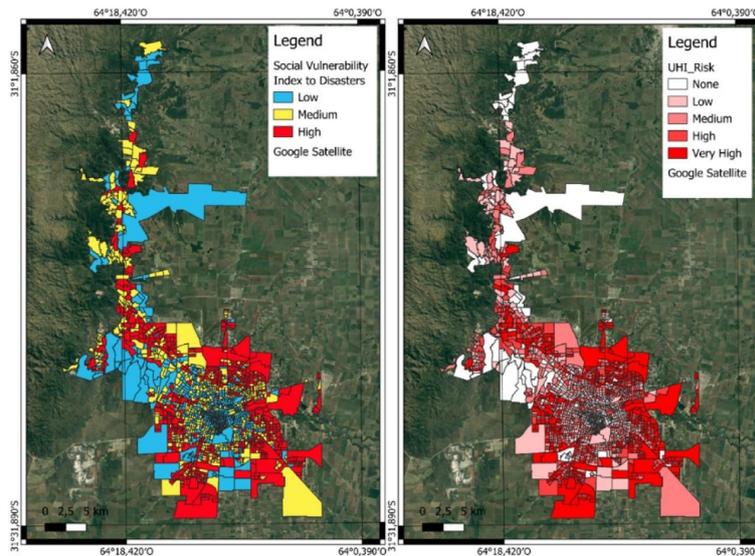


Figura 3: Relación entre el índice de vulnerabilidad urbana y los mapas de amenaza.

Fuente: Elaboración propia.

El valor de riesgo para cada tramo censal analizado se da mediante la Ecuación 1:

$$R = V * H (1)$$

Donde R es el riesgo, V es la vulnerabilidad y H es el peligro. Los valores oscilan entre 0 (ningún riesgo) y 1 (riesgo máximo).

Se presenta en la Fig. 3 a la izquierda el Mapa de Vulnerabilidad Social frente a Desastres y a la derecha el mapa de riesgo que compara el índice de vulnerabilidad con el efecto de la Isla de Calor Urbana en el Área Metropolitana de Córdoba aplicando la fórmula planteada con anterioridad.

Primera aproximación a estrategias de capacidad adaptativa basadas en la naturaleza

La caracterización del peligro de la Isla de Calor Urbana, la Vulnerabilidad Social contra desastres y su riesgo asociado permite definir enfocar de manera eficiente las estrategias de desarrollo urbano sostenible (Maristany et al., 2022).

Es posible establecer en base a la cartografía, que la ciudad cuenta con algunos elementos que son capaces de disminuir de manera local los niveles de temperatura. Como primera meta en la planificación de estrategias adaptativas, se plantea identificar y analizar dichos factores de minimización de la amenaza planteada.

Es posible reconocer en base a las imágenes de la Fig. 4 cómo la presencia de parques, áreas agro productivas, plazas y corredores verdes, son capaces de modificar las condiciones de temperatura superficial. Áreas más claras indican temperaturas menores.

Inclusive a las 10.30 am, horario en el cual las sombras de los edificios todavía influyen en los valores de temperatura superficial, es posible distinguir patrones comunes para (1) el Parque Sarmiento, (2) el Río Suquía y su costanera, (3) el Parque de la Ribera, (4) El arroyo de La Cañada, (5) Zonas vegetadas en Barrio Jardín, (6) el Parque de la Vida, (7) el Parque del Kempes y la (8) Reserva Natural Urbana San Martín.

En todos estos puntos la variable de la vegetación es constante, y en algunos de ellos además se cuenta con cursos o espejos de agua.

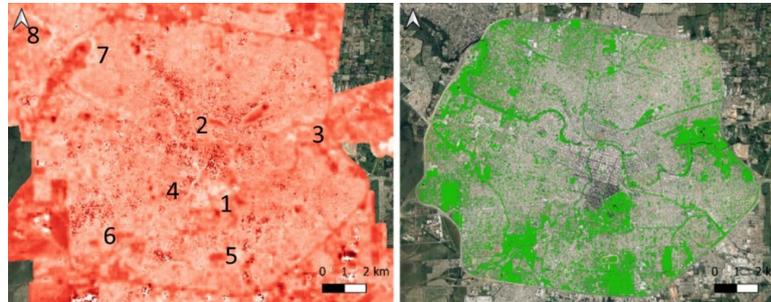


Figura 4: A la izquierda la imagen procesada de Landsat-8 con la media de temperatura a las 10:30 am. A la derecha superpuesto el mapa de cobertura vegetal obtenido de un umbral de 0.4 sobre el promedio anual del Índice Normalizado de Vegetación de imágenes Sentinel-2.

Fuente: Elaboración propia.

El diagnóstico permite validar con los datos que se dispone, que las soluciones basadas en la naturaleza tienen la capacidad de mitigar los efectos de la isla de calor.

La escala que tiene cada uno de los recursos y la importancia de los mismos para la ciudad permite insinuar una primera categorización: los parques urbanos, las plazas como pequeños puntos que permiten reducir la temperatura de manera local (imperceptible por la escala del pixel) y los corredores urbanos que, si bien a diferencia de los parques urbanos definen pequeñas superficies vegetadas, por traslación a lo largo del corredor podrían representar una estrategia de adaptabilidad superadora. se analizan el caso de La Cañada y la Av. Colón (Fig.6)

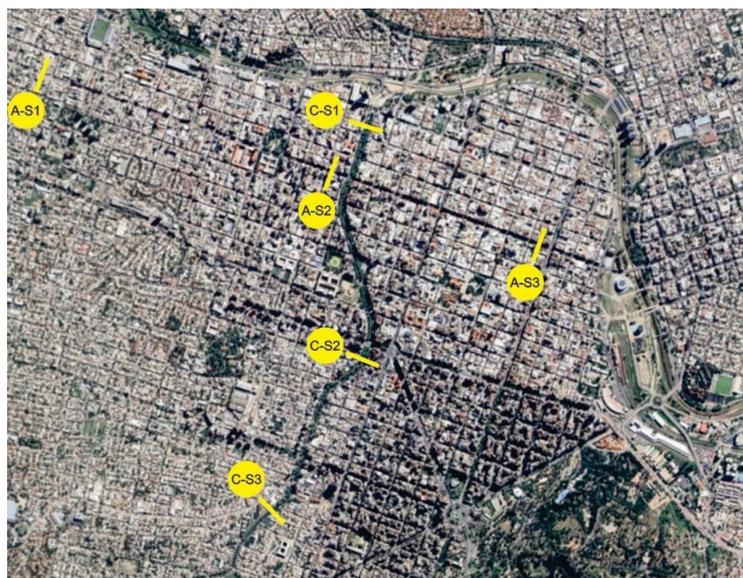


Figura 5: Secciones características a lo largo de los ejes de La Cañada (C-S 1, 2 y 3) y la Av. Colón (A-S 1, 2 y 3).

Fuente: Elaboración propia.

A lo largo de los dos corredores se definieron 3 perfiles transversales, en los cuales se caracteriza de

manera cualitativa el nivel de vegetación, el tráfico y las características geométricas del perfil.

La Fig. 5 muestra la ubicación de los puntos seleccionados, y la Fig. 6 el perfil transversal correspondiente a los mismos. Los resultados indican que existe una correlación entre presencia de vegetación y sombras con la reducción de la temperatura (Ver Tabla 2). Teniendo en cuenta que en los puntos C-S1, C-S2 y C-S3, los cuales corresponden al corredor vegetado de La Cañada, se evidencian menores temperaturas al aumentar la vegetación. Su temperatura media durante el período analizado es 31.24 °C, con una diferencia de 1°C entre la sección C-S2 y la C-S1 de 2°C entre la C-S2 y la C-S3.

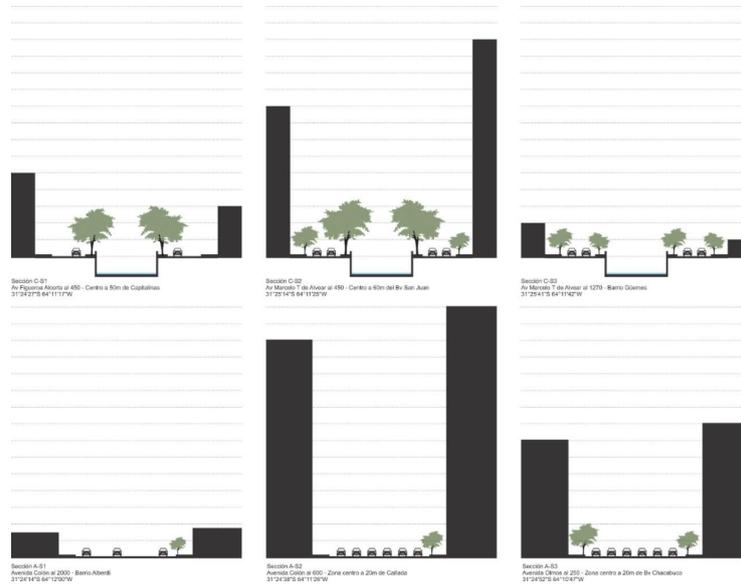


Figura 6: Perfiles urbanos según plano de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la Av. Colón, en la cual la presencia de vegetación es escasa, el punto A-S2 es el que presenta menor temperatura 32.13°C. El mismo se ubica muy cerca al arroyo La Cañada, y es el punto de la avenida cuyos edificios circundantes presentan mayor altura, proyectando sombra sobre los edificios. El punto A-S3 presenta un poco más de temperatura, con características parecidas en cuanto al perfil, pero el punto A-S1, cuyo perfil transversal es abierto, sin arboles ni edificios altos, a la mañana posee mayor temperatura porque efectivamente ha recibido más radiación que la zona céntrica.

Tabla 2: Temperatura de superficie promedio años entre 2020-2023 para los puntos de análisis en corredor la Cañada y Avenida Colón.

Corredor	Punto	Temperatura (°C)	Corredor	Punto	Temperatura (°C)
Av. Colón	A-S1	33.50	Cañada	C-S1	32.48
Av. Colón	A-S2	32.13	Cañada	C-S2	31.24
Av. Colón	A-S3	32.67	Cañada	C-S3	33.26

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este estudio, fue posible caracterizar el riesgo de la Isla de Calor Urbana, la Vulnerabilidad Social frente a desastres y su riesgo asociado. Acompañamos esta caracterización con cartografía que sirve como herramienta para la toma de decisiones. Los mapas presentaron la información analizada con la mayor resolución espacial actualmente disponible. Adicionalmente, se realizó una primera aproximación a la identificación de patrones urbanos existentes que propicien la minimización de la amenaza de ICU y

ola de calor. Esta aproximación permite sentar las bases para propuestas futuras y posibles escenarios de monitoreo de cambios frente a diferentes propuestas.

Aunque los resultados de mediciones térmicas se encuentran condicionados con la hora de adquisición del sensor, los mismos son útiles para determinar patrones y la escala espacial es adecuada para identificar variaciones a nivel local. El completamiento con mediciones térmicas nocturnas o mediciones in situ permitiría en un futuro evaluar de manera precisa los factores intervinientes. La búsqueda de alternativas basadas en la naturaleza/ecosistemas, fundamentadas en realidades locales, representa un tema que ha sido escasamente abordado desde la perspectiva de la capacidad de adaptación. Este tipo de enfoques mejora de manera sinérgica los beneficios ambientales que proporcionan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chiarito, G. L., & Chiarito, E. (2019). Estudio satelital de isla de calor/frío en Rosario según temperaturas superficiales urbanas e indicadores temáticos de suelo.

Datos Estadística Córdoba. (s.f.). Censo 2010: Resultados provisionales.

Datos Estadística Córdoba. (s.f.). Censo 2022: Resultados provisionales. <https://datosestadistica.cba.gov.ar/dataset/censo-2022-resultados-provisionales>

Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(6939), 528-531.

Lozada Montanari, M. S., & Camilloni, I. A. (2022). Variabilidad espacio-temporal de la isla de calor superficial en tres ciudades argentinas.

Maristany, A. R., Abadia, L., Angiolini, S., & Pacharoni, A. Impacto de la densificación urbana sobre la temperatura de la ciudad de Córdoba.

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York: Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Natenzon, C. E. y González S. G. (2010): "Riesgo, vulnerabilidad social y construcción de indicadores. Aplicaciones para Argentina." En: *Argentina y Brasil posibilidades y obstáculos en el proceso de Integración Territorial*. Mónica Arroyo y Perla Zusman, organizadoras. San Pablo: Humanitas, USP/Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, UBA, 195-217

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455).

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge university press.

Souch, C., & Grimmond, C. S. B. (2006). Urban climates and global climate change. *Physical Geography*, 27(5), 461-479. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.27.5.461>

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. (2015). Frente a Desastres (IVSD): Proyecto UBACYT – PDTs-PF01 (2013-2015). Buenos Aires: FADU, UBA.

Vanoli Faustinelli, L.G.; Beltramone, G.; Ferral, A.; Dedeu, C.; Soria, F. & Pons, D. (2024 - En prensa) Urban Risk Maps Associated with the Heat Island Phenomenon in the Metropolitan Area of Córdoba. ARGENCON VII. Congreso bienal de la sección Argentina del IEEE. Septiembre 2024.