AREA 32(1)
NOVIEMBRE DE 2025
ABRIL DE 2026
ISSN 2591-5312

DOSSIER
© SI-FADU-UBA

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN MICROCLIMÁTICA EN UN FRAGMENTO RESIDENCIAL-EDUCATIVO DE RESISTENCIA, CHACO, ARGENTINA, MEDIANTE SOFTWARE ENVI-MET

ASSESSMENT OF MICROCLIMATIC REHABILITATION STRATEGIES IN A RESIDENTIAL-EDUCATIONAL SECTOR OF RESISTENCIA, CHACO, ARGENTINA, USING ENVI-MET SOFTWARE

PALABRAS CLAVE
Arquitectura bioclimática,
Simulación,
Confort térmico,
Rehabilitación,
Morfología urbana

KEYWORDS
Bioclimatic architecture,
Simulation,
Thermal comfort,
Rehabilitation,
Urban morphology

MARÍA LAURA BOUTET, ALEJANDRO LUIS HERNÁNDEZ, AMANDA MAGALÍ GONZÁLEZ, ALBERTO PATRICIO MAHAVE y LUIS MARÍA RAFAEL ROMERO
Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Resistencia, Chaco, Argentina

RECIBIDO
31 DE OCTUBRE DE 2025
ACEPTADO
13 DE ABRIL DE 2026

INFORMACIÓN PARA CITAR ESTE ARTÍCULO
Boutet, María Laura; Hernández, Alejandro Luis; González, Amanda Magalí; Mahave, Alberto Patricio y Romero, Luis María Rafael (Noviembre 2025-Abril 2026). Evaluación de estrategias de rehabilitación microclimática en un fragmento residencial-educativo de Resistencia, Chaco, Argentina, mediante software ENVI-met. *AREA*, *32*(1), 1-21.
https://doi.org/10.62166/area.32.1.3990

EL CONTENIDO DE ESTE ARTÍCULO ESTÁ BAJO LICENCIA DE ACCESO ABIERTO CC BY-NC-ND 2.5 AR

RESUMEN

Se presentan los resultados de un estudio microclimático desarrollado con el software de simulación dinámica ENVI-met en un sector residencial-educativo del barrio Villa del Carmen, en la ciudad de Resistencia, provincia del Chaco, Argentina. El área de análisis tiene como núcleo un edificio escolar de nivel primario donde se habían identificado condiciones de disconfort térmico, frente a lo cual se elaboró una propuesta de rehabilitación de su entorno inmediato, basada en estrategias bioclimáticas pasivas. La comparación entre el escenario intervenido y el escenario de base evidenció una reducción de la temperatura del aire entre 0,9 y 1,1 °C y de la temperatura media radiante entre 15 y 29,3 °C, lo que indica un impacto positivo a partir de las medidas de mitigación simuladas y la utilidad del software como herramienta de diagnóstico y apoyo a la toma de decisiones de diseño sustentable.

ABSTRACT

The results of a microclimatic study conducted using the ENVI-met dynamic simulation software are presented for a residential–educational sector of the Villa del Carmen neighborhood in the city of Resistencia, provincia del Chaco, Argentina. The area of analysis has as its core a primary school building where conditions of thermal discomfort had been identified, in response to which a proposal for the rehabilitation of its immediate surroundings was developed, based on passive bioclimatic strategies. The comparison between the intervened scenario and the baseline scenario showed a decrease in air temperature of between 0.9 and 1.1 °C, and in mean radiant temperature of between 15 and 29.3 °C. This indicates a positive impact of the simulated mitigation measures and the software's usefulness as a diagnostic and support tool for sustainable design decision-making.

CONTRIBUCIONES DE AUTORÍA (CRediT)

Boutet, María Laura: Conceptualización, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Software, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición, Análisis formal, Curación de datos, Recursos.

Alejandro Luis Hernández: Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Software, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

Amanda Magalí González: Investigación, Metodología, Supervisión, Curación de datos, Recursos, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

Alberto Patricio Mahave: Conceptualización, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Recursos, Supervisión, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

Luis María Rafael Romero: Investigación, Metodología, Curación de datos, Análisis formal, Software, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

ACERCA DE LAS AUTORAS Y LOS AUTORES

María Laura Boutet. Doctora en Ciencias – Área Energías Renovables por la Universidad Nacional de Salta (UNSa), Especialista en Docencia Universitaria y Arquitecta por la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Jefe de Trabajos Prácticos en Arquitectura II – Unidad Pedagógica "B" y en la asignatura electiva Forma y Materia. Estereotomía y Tectónica de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU-UNNE). Investigadora Adjunta del CONICET en el Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano (IIDTHH-CONICET-UNNE) e Investigadora Categoría II del Sistema de Categorización Interna para Docentes Investigadores de la UNNE y III de la Secretaría de Políticas Universitarias. Directora del Proyecto acreditado PI 23X002 (SGCyT-UNNE) "Modelo de evaluación y rehabilitación microclimática de edificios educativos y su entorno residencial, para el desarrollo sustentable de la ciudad de Resistencia". Sus líneas de investigación abordan la arquitectura sustentable mediante el aprovechamiento de la energía solar, la evaluación higrotérmico-lumínica de edificios educativos y la simulación dinámica del comportamiento edilicio y microclimático de entornos urbanos.
✉ <laura.boutet@comunidad.unne.edu.ar>
https://orcid.org/0000-0001-6313-9577

Alejandro Luis Hernández. Doctor en Ciencias – Área Energías Renovables y Licenciado en Física por la Universidad Nacional de Salta (UNSa). Investigador Principal del CONICET. Director del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO-CONICET) y Profesor Titular en la UNSa, Categoría I en el Programa de Docentes-Investigadores de Universidades Nacionales Argentinas. Dirige el Grupo de Eficiencia Energética en Edificios (G3E) del INENCO desde 2015 e integra el Proyecto acreditado PI 23X002 (SGCyT-UNNE). Extensa trayectoria como asesor en proyectos de aprovechamiento de la energía solar para calefacción de edificios bioclimáticos, especializado en el diseño y evaluación termo-energética, mediante monitoreos y simulaciones computacionales. Experto en desarrollo de software de diseño de sistemas solares térmicos y de evaluación del recurso solar.
✉ <alejoher65@gmail.com>
https://orcid.org/0000-0001-9808-3972

Amanda Magalí González. Arquitecta por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Egresada con el título de Maestro Mayor de Obras (MMO) de la Escuela Provincial de Educación Técnica N.º 1, Formosa Capital. Adscripta alumna de la cátedra Arquitectura II – U.P. "B" del Área de Proyecto y Planeamiento (FAU-UNNE). Integrante del Proyecto PI 23X002 (SGCyT-UNNE) en el marco del cual ha contribuido específicamente a este trabajo mediante el desarrollo y finalización del plan de Beca Chaco + i, adjudicada por el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de la provincia del Chaco (ICCTI), titulado: "Estudio y aplicación de software específico para la evaluación y rehabilitación microclimática, en un fragmento urbano residencial-educativo de Resistencia, Chaco."
✉ <amanda.mg1203@gmail.com>
http://orcid.org/0009-0004-4700-3337

Alberto Patricio Mahave. Arquitecto por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Magíster en Arquitectura (Mención Proyecto) por la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y Doctorando en Arquitectura por la UNL. Profesor Adjunto de Morfología II y de la asignatura electiva Forma y Materia. Estereotomía y Tectónica, Jefe de Trabajos Prácticos de Arquitectura IV U.P. "A" y Coordinador del Área de la Comunicación y la Forma (FAU-UNNE). Investigador categorizado en el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias, actualmente con Categoría III del Sistema de Categorización Interna para Docentes Investigadores de la UNNE. Subdirector del Proyecto acreditado (SGCyT-UNNE) PI 21C006 "La forma en el espacio público urbano. Aportes para ciudades inclusivas y sostenibles" e Investigador integrante del Proyecto PI 23X002 (SGCyT-UNNE). Amplia labor en funciones de gestión institucional, planificación, ordenamiento territorial y urbano-ambiental, y desarrollo de proyectos de arquitectura y espacios verdes públicos.
✉ <albertomahave@gmail.com>
https://orcid.org/0009-0008-0866-9020

Luis María Rafael Romero. Licenciado en Geografía por la Universidad Nacional de Nordeste (UNNE), especializado en Ambiente y Cambio Climático. Diplomado de Posgrado en Bases y Herramientas para la Gestión Integral del Cambio Climático por la Universidad Nacional de Quilmes, la Universidad Nacional de Jujuy y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y en Herramientas Geomáticas Aplicadas al Ambiente (Instituto Gulich). Jefe del Departamento de Riesgo Ambiental de la Subsecretaría de Ambiente de la provincia del Chaco. Profesional técnico integrante del Proyecto PI23X002 (SGCyT-UNNE). Amplia experiencia en proyectos socioambientales vinculados al cambio climático. Gestión de datos geoespaciales, sistemas de información geográfica y plataformas satelitales (ópticas y SAR). Director y fundador de Sunqumir, Ciencia e Innovación para la Adaptación Climática y gestor del sitio web InfometChaco.
✉ <luismarcia4552@gmail.com>
https://orcid.org/0009-0004-8265-9104

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Planteo del problema

Las ciudades contemporáneas se enfrentan a una doble presión, por un lado, la aceleración del calentamiento global –que intensifica las olas de calor, modifica los patrones de radiación y amplifica las desigualdades térmicas urbanas–; por otro, la necesidad de evolucionar hacia modelos de lo que se denomina *urbanismo resiliente al cambio climático*, donde la gestión del microclima local pasa a ser un componente clave del diseño urbano y de la arquitectura e implica no sólo resistencia y recuperación, sino también la capacidad de adaptación, innovación y transformación urbana (Gomes Ribeiro y Pena Jardim Gonçalves, 2019).

El proceso de urbanización en las ciudades del nordeste argentino refleja tanto el impacto del crecimiento poblacional como la transformación de las prácticas sociales, que han promovido la ocupación de sectores urbanos expuestos a riesgos hídricos y ambientales, profundizando su vulnerabilidad territorial (Scornik, 2007).

En este marco, la ciudad de Resistencia, capital de la provincia del Chaco, se presenta como un laboratorio significativo para el estudio del confort térmico urbano. Su emplazamiento en la planicie aluvional del río Negro, la expansión sobre áreas de alto riesgo hídrico y ambiental, el clima cálido-húmedo característico de la región, agravado por el acelerado crecimiento demográfico y la densificación edilicia, configuran una vulnerabilidad particular frente a los extremos térmicos y al fenómeno de Isla de Calor Urbana (ICU). Desde el año 2000 se registra un aumento sostenido de extremos cálidos en el semestre cálido (Romero, 2025), lo que puede derivar en importantes consecuencias en la salud de la población, especialmente en sectores donde estos extremos se exacerban, como los entornos escolares y los equipamientos públicos.

En este contexto, la simulación microclimática emerge como una herramienta indispensable para diagnosticar, proyectar y evaluar estrategias de intervención sustentables que respondan a las condiciones ambientales del sitio. ENVI-met, un modelo tridimensional de simulación que reproduce las interacciones entre el aire, las superficies y la vegetación en entornos urbanos (Bruse, 1999), permite modelar distintos escenarios ofreciendo resultados cuantificables que vinculan los procesos físicos con decisiones proyectuales. Su uso está ampliamente validado a nivel internacional (Middel et al., 2014; Tsoka, Tsikaloudaki y Theodosiou, 2018; Yucekaya y Uslu, 2020) y nacional (Alchapar y Correa, 2016; Sosa, 2017; Stocco, 2016; Castillo, Correa Cantaloube y Cantón, 2022), pero en la Región Nordeste Argentina (NEA), su desarrollo es aún incipiente (Boutet, 2024; 2022).

Asimismo, el estudio microclimático desde la perspectiva de la morfología urbana habilita una mirada transdisciplinar que amplía el repertorio de recursos para mitigar los efectos adversos del clima. Numerosas investigaciones han demostrado cómo la forma tridimensional del tejido urbano condiciona la distribución de la temperatura y confirman que la implementación de estrategias bioclimáticas impacta positivamente en el microclima urbano.

En este sentido, Noelia Liliana Alchapar, Claudia Cortim Pezzuto y Érica Norma Correa (2018) destacan que las condiciones térmicas urbanas resultan de la interacción entre variables morfológicas y materiales, particularmente el albedo de las superficies y la presencia de vegetación. En concordancia,

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

estudios previos citados por dichas autoras, evidencian que la utilización de materiales reflectivos y el incremento de áreas verdes contribuyen a reducir la intensidad de la isla de calor urbana con reducciones térmicas promedio del orden de 2,0 ºC (Santamouris et al., 2017; Santamouris, Synnefa y Karlessi, 2011). Asimismo, la vegetación actúa como un mecanismo pasivo de enfriamiento (Shashua-Bar, Tsiros y Hoffman, 2010; Ali-Toudert, 2005; Abreu-Harbich, Lubaki y Matzarakis, 2014; Pezzuto, 2007; Muniz Gaal y Pezzuto, 2016), mientras que la configuración del tejido urbano y la heterogeneidad de los usos del suelo inciden en el consumo energético (Chen et al., 2011)

En el trabajo de Alchapar, Pezzuto y Correa (2018) se comparó la eficiencia de diversas estrategias de enfriamiento urbano en las ciudades de Mendoza, Argentina y de Campinas, Brasil. Fueron analizados 18 escenarios que modifican su porcentaje de vegetación y nivel de albedo en materiales opacos de la envolvente urbana, mediante el modelo de alta resolución microclimática - ENVI-met. Como resultado se observó que el porcentaje de vegetación y el albedo medio de las superficies opacas urbanas explica el 71,5% de los comportamientos dentro de los canales viales evaluados en ambas ciudades. El aumento de la cobertura vegetal mostró la capacidad para reducir la temperatura del aire, con descensos de hasta 2 °C en Mendoza y de hasta 5 °C en Campinas. En cambio, cuando se incrementa el albedo de la envolvente urbana en contextos de alta densidad, las simulaciones evidencian un incremento térmico, del orden de 1 °C. Sin embargo, cuando se combina un albedo elevado en superficies horizontales con valores bajos en las verticales, se observan descensos térmicos importantes: aproximadamente 2 °C en Mendoza y 3 °C en Campinas. Este comportamiento se vincula con las condiciones geométricas de los cañones urbanos densos, donde la reducida fracción de visión efectiva al cielo, determinada por la altura de las edificaciones, favorece que la radiación reflejada por materiales de alto albedo quede atrapada en el cañón urbano. Las múltiples reflexiones aumentan la temperatura de las superficies, lo que a su vez eleva la temperatura media radiante y contribuye al calentamiento del aire circundante.

María Belén Sosa, Érica Correa y María Alicia Cantón (2020) evaluaron el nivel de eficacia de dos estrategias factibles de ser incorporadas para disminuir el calentamiento urbano en contextos áridos, a partir del diseño de 96 escenarios que combinan dos alturas de edificación (3 y 6 m), tres anchos de calle (16, 20 y 30 m) y cuatro orientaciones (E-O, N-S, NO-SE y NE-SO). Los hallazgos más importantes indicaron que la incorporación de las estrategias combinadas (morfología-forestación-albedo) resulta ser la opción más eficaz ya que se potencian los beneficios individuales; alcanzando disminuciones de hasta un 12% en la temperatura máxima, 10% en la mínima y 11% en el promedio.

Otros estudios indican que la magnitud y eficacia del impacto de las diversas estrategias utilizadas depende de las particularidades climáticas y de la forma de cada ciudad de estudio (Sosa, Correa y Cantón, 2020; Ruiz, Sosa, Correa y Cantón, 2017; Sanusi, Johnstone, May y Livesley, 2016; Bakarmana y Changa, 2015).

En el sector residencial, los edificios escolares constituyen un potencial núcleo de desarrollo de estrategias bioclimáticas mediante el aprovechamiento de la energía solar, recurso renovable de alta disponibilidad en la Región NEA y,

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

por consiguiente, de eficiencia y ahorro energético (Boutet, 2017; San Juan, 2014). Asimismo, pueden constituirse en factor de integración socioambiental por su rol pedagógico relevante en la comunidad (San Juan, 2008).

En el presente artículo, se presenta un estudio piloto a microescala encuadrado en un proyecto mayor de investigación[1] y se fundamenta en la necesidad prioritaria de generar soluciones integrales y eficientes con relación al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N.º 11 de la Organización de las Naciones Unidas, "Lograr ciudades más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles".

Se tomó como epicentro la Escuela de Educación Primaria N.º 116 "Gaspar Lucilo Benavento", perteneciente al Programa Nacional 700 Escuelas, donde se realizaron auditorías termo-energéticas a lo largo de un año, en simultáneo con otros edificios educativos en áreas diferenciadas de Resistencia (Boutet, 2017). La utilización del software ENVI-met permitió profundizar el análisis de las variables microclimáticas de su entorno inmediato, así como de las propiedades térmicas y ópticas de la envolvente urbana, los canales viales y la vegetación. A partir del diagnóstico obtenido, se desarrolló un escenario alternativo incorporando estrategias bioclimáticas de rehabilitación urbano-edilicia.

Diagnóstico de la problemática edilicia

La Escuela de Educación Primaria N.º 116 "Gaspar Lucilo Benavento", donde también funciona la Escuela para Adultos N.º 22 "Gral. Dónovan", se ubica en el barrio Villa del Carmen, una zona residencial de baja densidad edilicia de la ciudad de Resistencia, en un terreno entre medianeras de aproximadamente 2 mil m^2. Situado próximo a la laguna *Prosperidad-Los Lirios*, el barrio se encuentra rodeado de diversos usos mixtos y equipamientos de relevancia, que le confieren un carácter estratégico para la implementación de acciones de rehabilitación urbano-edilicia con enfoque socioambiental y participación comunitaria.

El edificio, puesto en servicio en 2004 bajo el Programa Nacional "700 Escuelas", responde a una tipología de planta abierta con dos cuerpos de dos niveles dispuestos en torno a un amplio patio central de 600 m^2, originalmente concebido como centro de manzana según el Código de Planeamiento Urbano-Ambiental. En 2022, este espacio fue cubierto con una estructura metálica liviana para brindar protección solar y pluvial, modificando su función original de espacio de ventilación y regulación térmica. Con una superficie cubierta de 1.500 m^2, la escuela presenta fachadas expuestas hacia el nordeste y el suroeste, sin obstrucciones significativas (Figura 1, pág. siguiente).

Su sistema constructivo combina estructura de hormigón armado con muros de ladrillo macizo, cubiertas metálicas y aberturas con parasoles horizontales fijos que cubren 50% de las mismas. El patio central presenta un pavimento de losetas de hormigón, con reducida proporción de superficie permeable y sectores verdes limitados a pequeños canteros en las esquinas. Las áreas pedagógicas se distribuyen en 11 aulas, biblioteca, talleres y el salón de usos

1 Proyecto PI 23X002 (SGCyT-UNNE) "Modelo de evaluación y rehabilitación micro-climática de edificios educativos y su entorno residencial, para el desarrollo sustentable de la ciudad de Resistencia".

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

múltiples (SUM), con una matrícula aproximada de 700 alumnos y funcionamiento en tres turnos (mañana, tarde y noche).

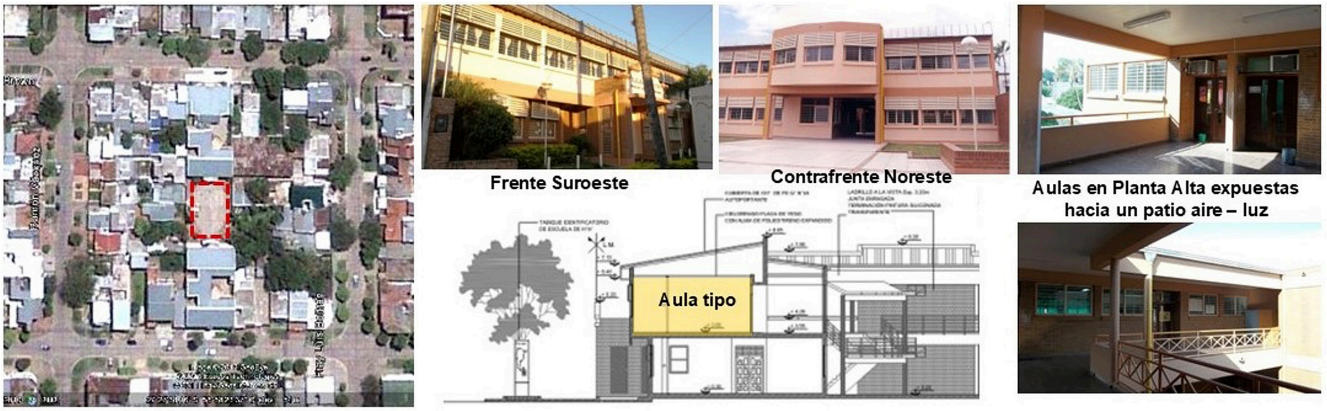


Figura 1

Imagen satelital de la EEP N.º 116 de 2012, señalando el patio central descubierto (izquierda). Corte y fotos de sus frentes y patios internos (derecha).

Fuente: Boutet (2017).

Desde el punto de vista ambiental, el edificio dispone de patios aire-luz y galerías de transición que constituyen recursos bioclimáticos potenciales para la captación de luz y ventilación natural. Sin embargo, la exposición solar directa sobre grandes superficies vidriadas y la limitada ventilación natural generan condiciones de sobrecalentamiento, especialmente en los meses cálidos, incrementándose el consumo energético para refrigeración. En el año monitoreado, el mayor consumo se registró en el mes de diciembre con 7.140 kWh, al haberse incorporado equipos de aire acondicionado en todas las aulas.

El monitoreo realizado durante el período 2012-2013 evidenció un desempeño ambiental deficiente, con condiciones interiores fuera del rango de confort higrotérmico durante gran parte del año. Las situaciones más críticas se registraron en los meses de noviembre y diciembre, con elevadas ganancias solares y la escasa ventilación natural que generaron sobrecalentamiento y exceso de humedad relativa. En el mes de noviembre, la escuela presentó el segundo peor comportamiento del diagnóstico general de edificios monitoreados, con un índice global de disconfort $I_D^{(T+HR)}$ (Boutet, 2017) de 1.18 y valores extremos de 1.29 y 0.93 (Figura 2). Dicho índice, al ser superior a la unidad, indica que el clima interior estuvo más veces fuera del rango de confort que el clima exterior.



	EP 116	EP 26	ES 75	EP 1058	JI 174	2EP 26	EP 373
MAX.	1.29	1.10	0.89	0.98	0.98	1.00	1.25
PROM.	1.18	0.75	0.80	0.91	0.84	0.78	1.20
MIN.	0.93	0.40	0.73	0.81	0.72	0.51	0.96

Figura 2

Comparación del índice global de disconfort de edificios monitoreados en el mes de noviembre.

Fuente: Boutet (2017).

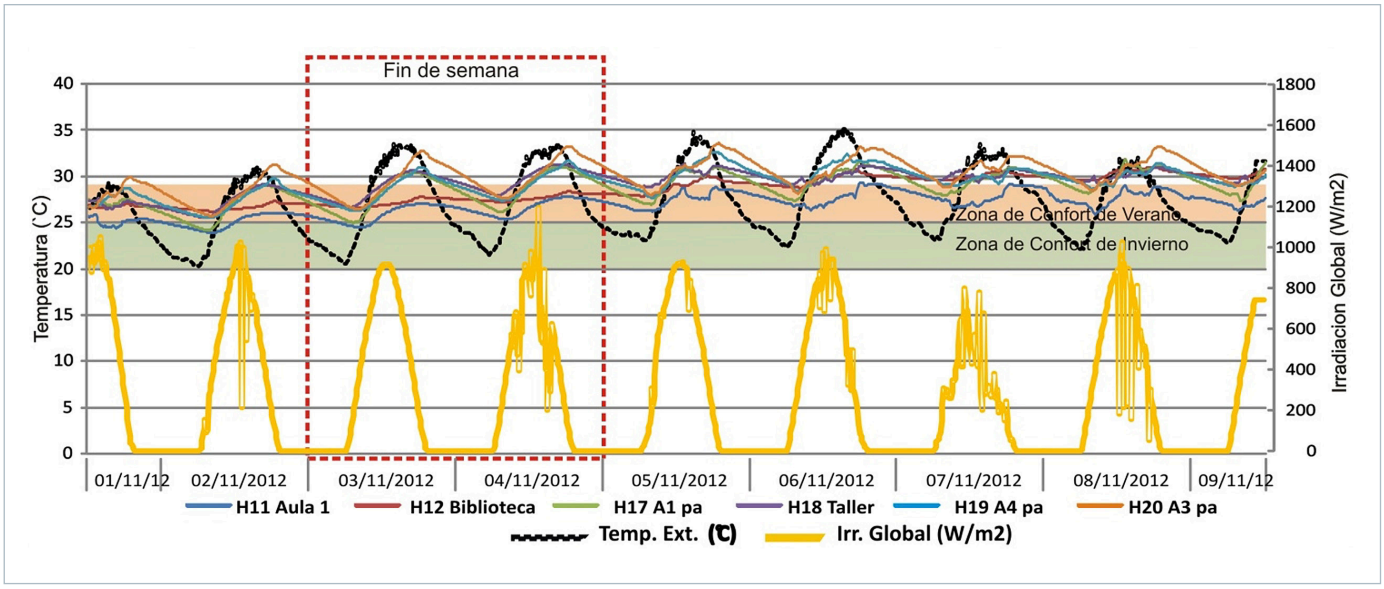
© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Las mayores temperaturas se asociaron a espacios con envolventes más expuestas en planta alta y a la densidad de ocupación, alcanzando un promedio térmico interior de 29,1 °C –superior al promedio exterior de 27,4 °C– y máximos absolutos de 33,3 °C, mientras que la humedad relativa promedio fue de 52%. El análisis lumínico mostró valores promedio de 118 lx, por debajo de los niveles recomendados debido al uso de cortinas, aunque algunas aulas alcanzaron un promedio máximo de 403 lx, dentro del rango de confort visual.

En la Figura 3 se muestra la evolución de temperaturas interiores medidas mediante sensores HOBO (USA) MOD.U12-012 –T°C/%RH/LUZ–, con relación a la temperatura ambiente exterior y a la radiación solar global registradas durante el período monitoreado de noviembre mediante una Micro Estación ONSET H21-002 instalada en el área céntrica de la ciudad.

Figura 3

Evolución de temperaturas internas. Aulas Bloque 1, EEP N.º 116. Período del 1 al 9 de noviembre de 2012. Fuente: Boutet (2017).



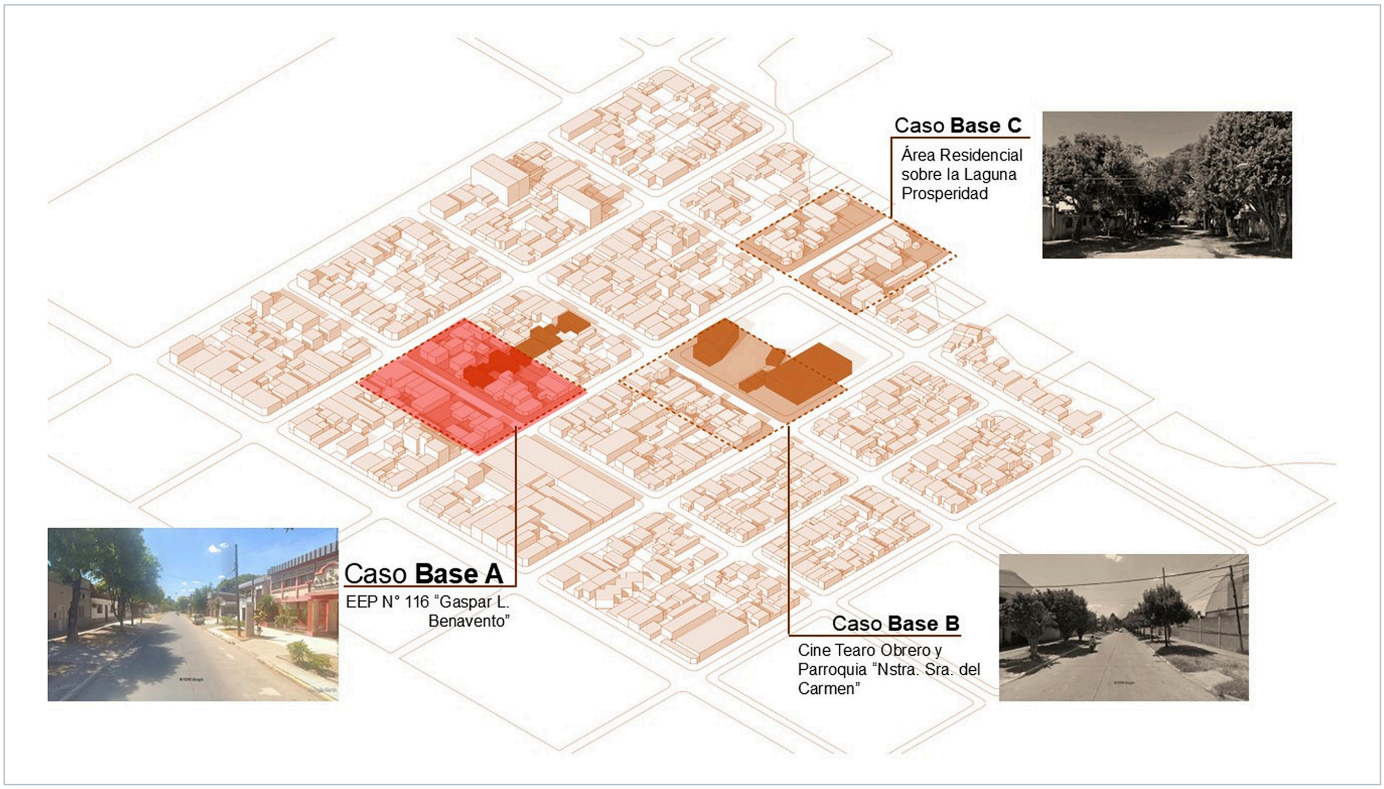
La incidencia solar directa, la falta de protecciones exteriores adecuadas en las áreas vidriadas, la insuficiente ventilación, y el disconfort térmico manifestado por los propios usuarios en las encuestas realizadas, evidenciaron la necesidad de incorporar estrategias de control solar y una gestión más eficiente de la ventilación cruzada para mejorar el desempeño ambiental del edificio.

Considerando que la eficacia de dichas estrategias depende en gran medida del microclima particular en torno al edificio, se planteó la siguiente hipótesis de trabajo: los análisis comparativos basados en simulación microclimática permiten explorar las relaciones entre variables ambientales y evaluar el potencial de distintas estrategias bioclimáticas para la rehabilitación urbano-edilicia en entornos residenciales-educativos, en función de las características específicas del contexto urbano.

Metodología

El estudio microclimático realizado en el barrio Villa del Carmen, como modelo replicable a otras áreas de la ciudad, se estructuró a partir de una metodología cuanti-cualitativa, en las siguientes fases:

a. **Identificación y caracterización del área de intervención.** Se recopilaron datos sobre la configuración ambiental, morfológica y constructiva del entorno inmediato al edificio escolar, mediante Google Earth, Street View y un relevamiento físico-sensible, sistematizándolos en una base de datos Excel. A partir de esta información se elaboraron planos en AutoCAD y un modelo tridimensional en SketchUp (Figura 4), que facilitaron la posterior simulación microclimática.



b. **Modelado del caso base en el software ENVI-met.** Se definieron tres subáreas de 100x100 m que incluyen edificaciones, espacios abiertos y sus canales viales. Esta delimitación permitió analizar de manera integrada la morfología urbana y el comportamiento térmico local, facilitando la comparación entre diferentes tipos de tejido y distintos niveles de cercanía al borde lagunar. Se asignó a cada caso base de 100x100 m, una resolución espacial de 3x3x3 m (grillas totales: x = 34; y = 34; z = 20). La cuadrícula vertical se configuró con subdivisión equidistante y cinco subceldas en el primer nivel, con el fin de representar con mayor detalle el microclima próximo a la superficie. Los materiales y especies arbóreas con características equivalentes a las nativas se seleccionaron de la biblioteca estándar de ENVI-met, editando sus propiedades ópticas y térmicas cuando fue necesario para ajustar la simulación al contexto local.

Figura 4
Esquema tridimensional del área de estudio (barrio Villa del Carmen), indicando las áreas simuladas y el área seleccionada para este trabajo (Caso Base A).
Fuente: López, González, Lembo Blanco y Boutet (2025).

Las simulaciones se realizaron para el día más cálido y despejado de febrero de 2025, seleccionado a partir de un estudio estadístico previo sobre extremos térmicos (Romero, 2025), dado que ese mes registró el récord de calentamiento. Se utilizaron los datos horarios de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento registrados por la estación Resistencia Aero (Servicio Meteorológico Nacional - Centro de Información Meteorológica - SMN-CIM).

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Se analizó la evolución horaria de las variables de interés obtenidas de la simulación –temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y temperatura media radiante (TMR)– a una altura peatonal de 1,50 m a partir de receptores ubicados en puntos estratégicos según su grado de exposición. Se utilizó el módulo *Leonardo* para la visualización de resultados en el horario de máxima temperatura (15:00 h).
Si bien se desarrolló un diagnóstico integral a partir de los tres escenarios simulados, en el presente artículo se profundizan los resultados del *Caso Base A*, que incluye el edificio escolar de referencia.

c. **Propuesta de escenarios de rehabilitación urbano-edilicia.** En base a los resultados obtenidos se evaluaron estrategias de mejora microclimática mediante simulaciones de escenarios alternativos en ENVI-met, que se compararon con el caso base, entre ellas:

- Incorporación y redistribución estratégica del arbolado urbano y enverdecimiento de superficies de patios y veredas.
- Incremento del albedo superficial en veredas y calzadas mediante materiales reflectantes.
- Aplicación de materiales de menor conductividad térmica en muros y techos.
- Reconfiguración de espacios abiertos para mejorar la ventilación y el confort térmico.

Limitaciones y alcances de la modelización. En esta etapa inicial, se utilizó la versión libre de ENVI-met con el fin de explorar su capacidad para detectar micro-escenarios críticos bajo condiciones extremas. Se trabajó con datos horarios de la estación Resistencia Aero (SMN-CIM) y con condiciones iniciales homogéneas en los escenarios simulados. Si bien no se realizó una validación empírica específica de los modelos, las mediciones microclimáticas urbanas efectuadas por María Laura Boutet (2017), mediante una Micro Estación ONSET H21-002 operativa durante un año en el área céntrica de la ciudad, constituyen un antecedente relevante. Estos registros, previamente aplicados al ajuste de modelos termo-lumínicos en edificios escolares, como el caso de referencia, aportan una base empírica consistente que respalda la validez general de las tendencias observadas. Los resultados obtenidos deben interpretarse en términos exploratorios y comparativos, propios de etapas tempranas de diseño, al permitir identificar relaciones entre variables y comportamientos relativos entre escenarios. En este marco, el modelo no adquiere un carácter prescriptivo, sino que se orienta a la generación de hipótesis y al reconocimiento de patrones de desempeño microclimático. Por otra parte, el uso de la versión libre de ENVI-met implicó la simplificación de ciertos parámetros y configuraciones del modelo. Si bien estas restricciones limitan el nivel de detalle y precisión, no comprometen la coherencia interna de las variables analizadas, cuyos comportamientos resultan consistentes tanto con la literatura internacional como con el conocimiento previo del clima local, lo que sienta las bases para futuras instancias de calibración, validación empírica y complejización del modelo.

Resultados del análisis microclimático

El análisis microclimático de los tres escenarios simulados permitió confirmar que la configuración urbana condiciona fuertemente la respuesta térmica local, y que la presencia de vegetación constituye el factor de mitigación más eficiente frente a los episodios de calor extremo.

El *Caso Base A* abarca parte de la EEP Nº 116 "Gaspar Lucilo Benavento" y su entorno residencial inmediato, así como el canal vial Hipólito Irigoyen de 20 m de ancho con orientación noroeste–sureste, con una altura edilicia que oscila entre uno y dos niveles. La vegetación fue modelada en función de las especies existentes en el área de estudio, principalmente palmeras y fresnos (Fraxinus), correspondientes a árboles de 3º magnitud (de 5 a 10 m de altura). Las superficies urbanas se definieron según sus propiedades térmicas y ópticas, considerando valores de albedo y emisividad acordes a la literatura. En las Figuras 5 y 6 se muestra la modelización en 2D y 3D, con la ubicación de receptores (R01 a R08) en lugares estratégicos.



Figura 5

Caso Base A. Imagen satelital Google Earth Pro 2025 (izquierda). Modelización 3D en Envi-met (derecha).

Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

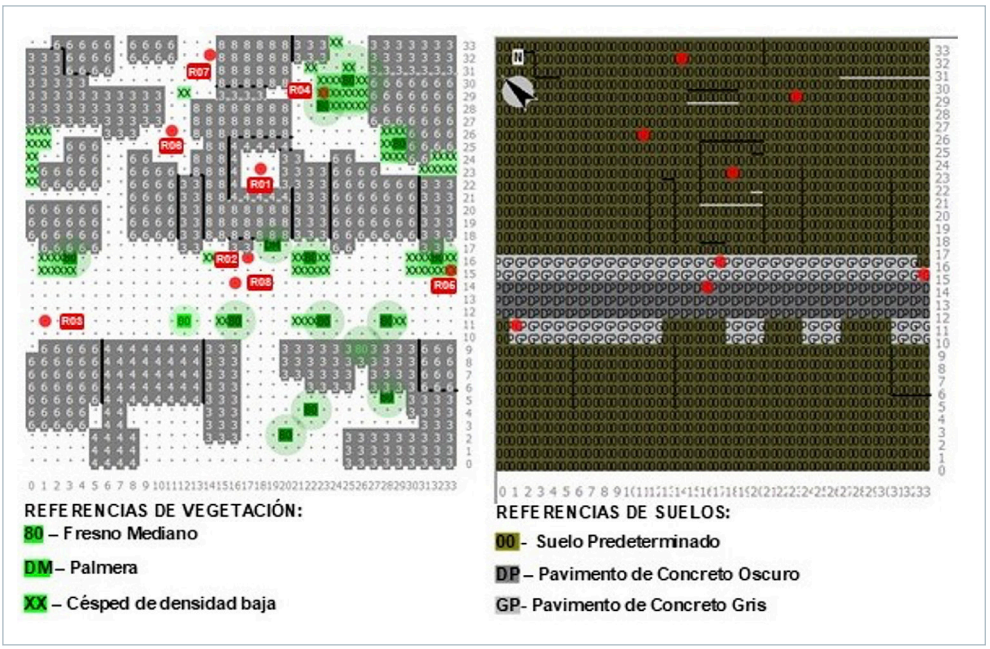


Figura 6

Caso Base A. Modelización Envi-met de edificios y vegetación (izquierda) y de suelos (derecha), con ubicación de receptores.

Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

La simulación (Figura 7, pág. siguiente), permitió identificar áreas críticas con baja cobertura vegetal y alta exposición solar, con temperaturas máximas del aire mayores a 43 °C y temperaturas medias radiantes que superan los 70 °C. Esto refleja un comportamiento típico de un entorno urbano con

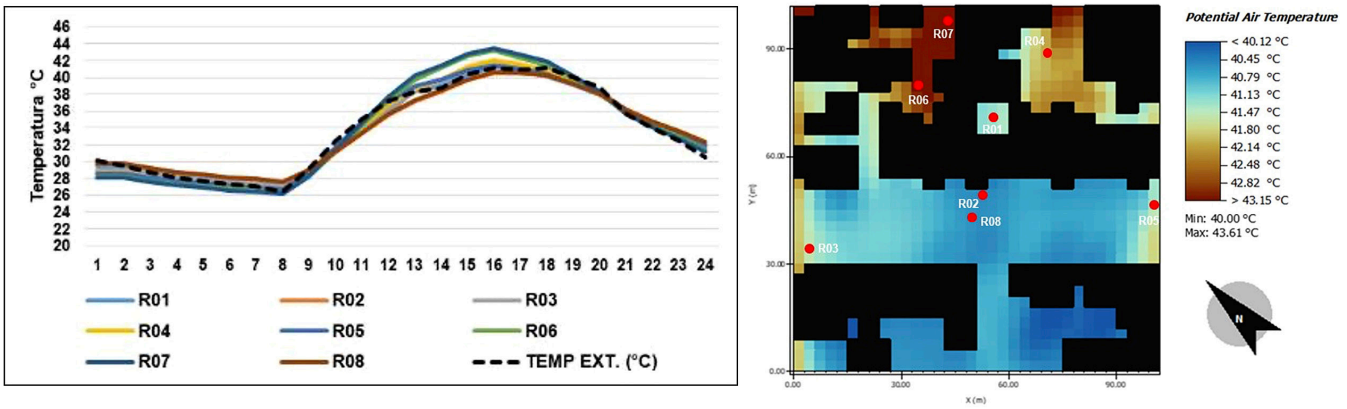
© SI-FADU-UBA | DOSSIER

predominancia de materiales de alta absortancia solar. Los picos térmicos (15-16 h) se concentran en los patios cerrados más expuestos: R07 alcanza los 43,4 °C y R06 los 43,2 °C, seguidos por R04 (patio de vivienda con vegetación cercana) con 42,1 °C y R01 (patio interno de la escuela) con 41,3 °C. Las veredas expuestas, R02 (acceso a la escuela); R03 (esquina noroeste); R05 (esquina sureste) quedan en el rango de 40,6 a 41,5 °C, mientras que R08 (canal vial Hipólito Irigoyen) marca 40,6 °C. El contraste térmico alcanzó una diferencia diaria de más de 30 °C entre la temperatura media radiante mínima (42,1 °C) y la máxima (82,5 °C). La humedad relativa cayó a valores entre 21 y 23% en horas críticas, frente a máximos entre 58 y 67% por la mañana, pero disminuyendo rápidamente por la incidencia solar directa y el calor acumulado.

Figura 7

Caso Base A. Evolución de temperaturas de receptores (izquierda). Visualización en Leonardo de la distribución de temperaturas a las 15:00 h a 1,50 m de altura (derecha).

Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.



La escasa ventilación en patios y la obstrucción de las veredas por barreras físicas revelan que la confinación morfológica, sumada a la alta absortancia de los materiales, intensifica el sobrecalentamiento, mientras que la vegetación sólo atenúa parcialmente esta condición sin compensar el encierro. La visualización en Leonardo (Figura 7, derecha), a las 15:00 h y a 1,50 m de altura, muestra que las zonas más cálidas (representadas en tonos marrones) se concentran en los sectores nordeste y este del modelo, coincidiendo con los vientos predominantes; allí el aire caliente tiende a estancarse y no logra renovarse, especialmente en áreas sin vegetación y con alta exposición solar. En contraste, las zonas más frescas (tonos azules) se ubican al sur y suroeste, donde los edificios del norte actúan como barrera y reducen la llegada de aire caliente, manteniendo temperaturas más moderadas. Estos resultados señalan la necesidad de generar corredores de ventilación, asegurar la continuidad de copas y reducir las absortancias superficiales para mejorar las condiciones en los receptores más críticos (R06-R07).

La distribución de la *temperatura media radiante* (Figura 8, izquierda, pág. siguiente), muestra valores críticos de hasta 79 °C, generados principalmente por la materialidad predominante, que absorbe, almacena y reemite grandes cantidades de calor. La vegetación existente, aunque dispersa, contribuye a reducir estos valores en su entorno inmediato, generando un marcado contraste térmico. De la misma manera, la distribución de la *radiación solar reflejada* (Figura 8, derecha) muestra un contraste marcado entre zonas de alta reflectancia, como patios internos y veredas, y áreas de mayor absorción solar, en particular la calle principal. Aunque esta última no aparece como la zona de mayor emisión térmica superficial, la radiación reflejada desde las

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

superficies claras puede generar una carga térmica adicional sobre los peatones, intensificando el estrés térmico. Los parches en tonos azules confirman el efecto atenuador de la vegetación y de las sombras proyectadas por las edificaciones, que reducen tanto la radiación incidente como la reflejada.

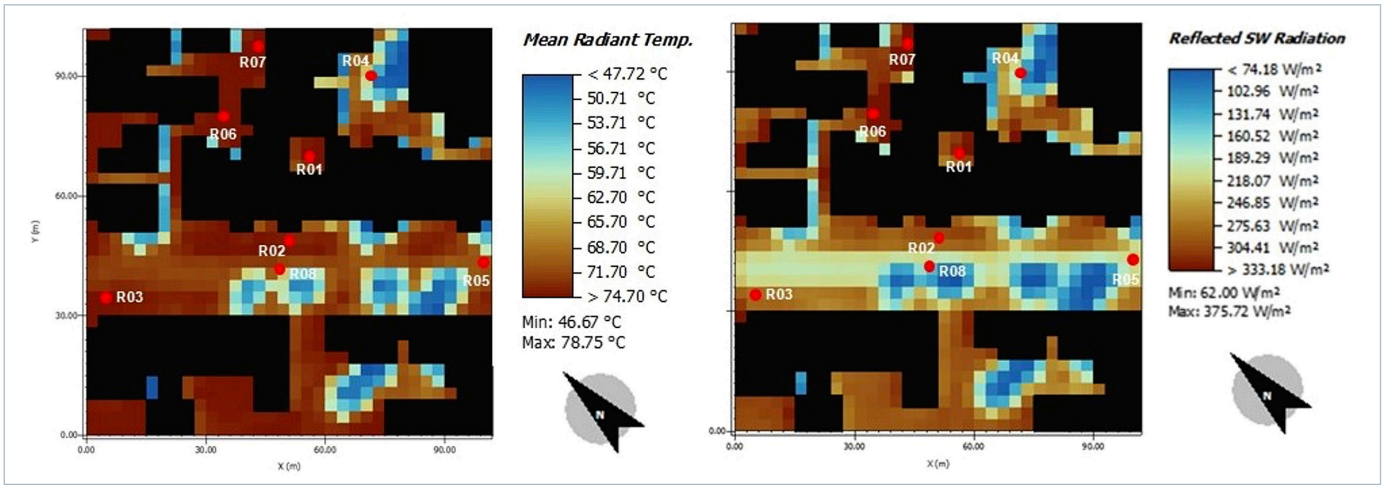


Figura 8
Caso Base A. Visualización en Leonardo a las 15:00 h a 1,50 m de altura de la distribución de la temperatura media radiante (izquierda) y de la radiación solar reflejada (derecha).
Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

La humedad relativa (Figura 9) se mantiene mayormente baja en todo el modelo a las 15:00 h, con valores entre 21% y 24 %, situándose por debajo de los valores registrados en el aeropuerto. Este comportamiento es coherente con las temperaturas máximas, que reducen la humedad relativa si el contenido de humedad del aire permanece constante. Esta condición de baja humedad relativa, combinada con el calor acumulado, agudiza la sensación de disconfort térmico y puede exacerbar el estrés térmico en las personas expuestas.

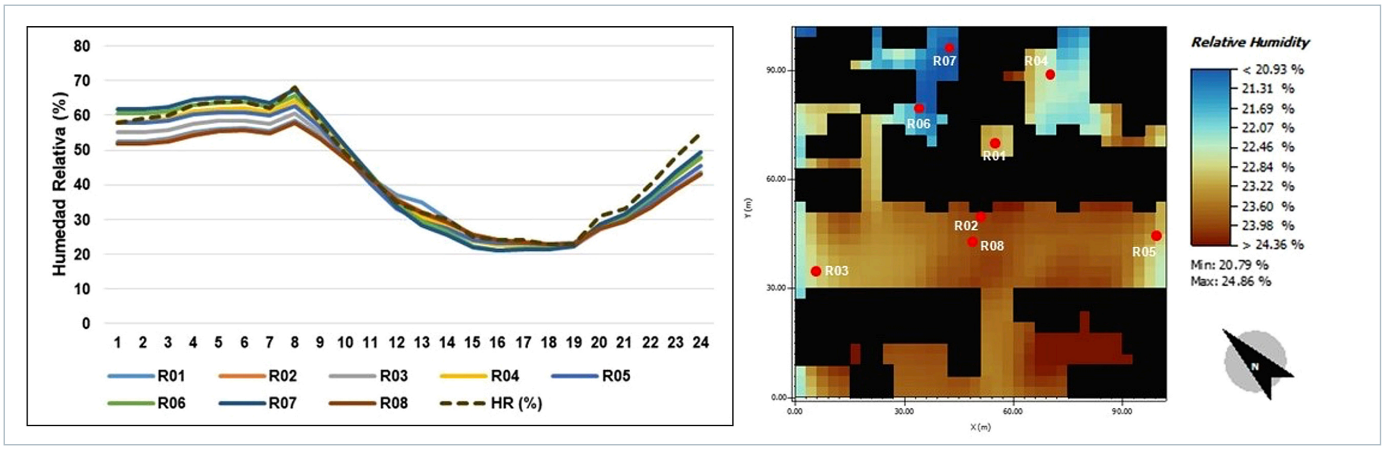


Figura 9
Caso Base A. Evolución de humedad relativa de receptores (izquierda). Visualización en Leonardo de la distribución de humedad relativa a las 15:00 h a 1,50 m de altura (derecha).
Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

Las construcciones ubicadas en el norte y nordeste son las primeras en interceptar el viento predominante (Figura 10, pág. siguiente) y funcionan como pantallas que lo desvían o lo frenan, reduciendo significativamente su avance hacia el resto del área. Como resultado, en el eje noroeste-sureste se registran velocidades muy bajas, e incluso zonas casi estáticas. La calle principal no está alineada con la dirección del viento, lo que contribuye a la disminución de la velocidad. Sólo en sectores puntuales donde sí existe una alineación favorable –como el eje nordeste-suroeste– el flujo logra canalizarse y aumentar su velocidad, produciendo un efecto similar al Venturi. Sin embargo, estos casos son excepcionales: la mayor parte del tejido urbano no permite una circulación longitudinal eficiente del viento.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

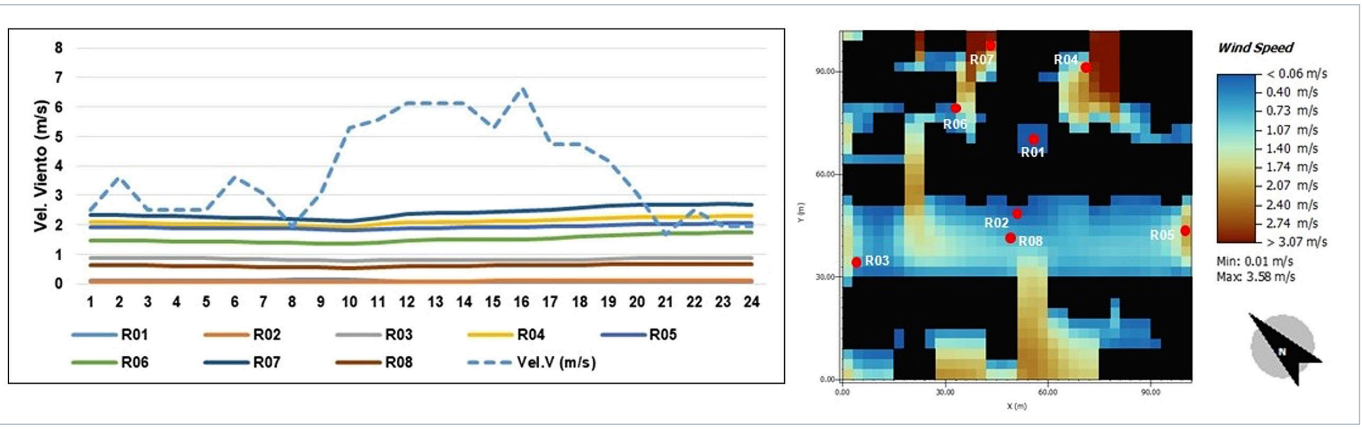


Figura 10

Caso Base A. Evolución de velocidad de viento (m/s) de receptores (izquierda). Visualización en Leonardo de la distribución de velocidades de viento (m/s) a las 15:00 h y a 1,50 m de altura (derecha).

Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

Los resultados subrayan la necesidad de una selección equilibrada de materiales en la envolvente urbana, considerando las diferencias entre superficies horizontales y verticales. En el caso de las superficies horizontales, los materiales de alto albedo resultan beneficiosos porque reducen la acumulación térmica y contribuyen a limitar el calentamiento del espacio urbano. En cambio, en superficies verticales, valores de albedo moderados –ni excesivamente altos, para evitar el incremento de reflexiones directas hacia el espacio urbano, ni demasiado bajos, para no aumentar la carga térmica absorbida por los edificios– muestran un desempeño más adecuado según las simulaciones. Esta consideración permite evitar efectos indeseados tanto en el microclima peatonal como en el interior de las edificaciones.

La ventilación no evidenció un impacto significativo en las condiciones térmicas del área. Al contrario, los patrones de circulación del aire afectan negativamente la sensación térmica, debido a obstáculos o barreras físicas y situaciones de encierro entre edificaciones. Esto refuerza el papel clave de la vegetación como elemento regulador del microclima y atenuante de la radiación solar.

Propuesta de escenarios de rehabilitación urbano-edilicia

A partir del diagnóstico microclimático obtenido del área de estudio, se evaluaron estrategias de mejora mediante simulaciones de escenarios alternativos en ENVI-met, que se compararon con el Caso Base a fin de cuantificar sus beneficios. La propuesta de rehabilitación que se muestra a continuación (Figura 11, pág. siguiente), se basó en las siguientes estrategias:

- *Incorporación y redistribución estratégica del arbolado urbano*. Para el arbolado de alineación, se incorporaron más ejemplares de los fresnos existentes y se introdujo la especie caducifolia Ginkgo biloba, muy longeva, ideal para entornos urbanos, en sus distintos grados de magnitud, según el espacio disponible para su plantación. También se incorporaron especies de menor porte en los patios internos. Las especies vegetales incorporadas en el modelo corresponden a tipologías disponibles en la base de datos estándar del software ENVI-met, utilizadas como equivalentes funcionales de especies nativas, en términos de altura, densidad de copa (Leaf Area Density-LAD) y comportamiento ecofisiológico, constituyendo la incorporación de especies nativas una línea de ajuste futura.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

- *Enverdecimiento de superficies de patios internos y veredas.* Se incrementó la cobertura vegetal de densidad baja mediante la incorporación de cobertura vegetal herbácea (tipo césped) de densidad media, modelada según los parámetros estándar del software, con el objetivo de incrementar la evapotranspiración, mejorar la permeabilidad del suelo y reducir la temperatura superficial.
- *Incremento del albedo superficial en veredas y calzadas mediante materiales reflectantes.* Se reemplazó el pavimento de concreto oscuro de la calle Hipólito Irigoyen (albedo 0.2; emisividad 0.9) por uno más claro (albedo 0.5; emisividad 0.9).
- *Aplicación de materiales de menor conductividad térmica en muros y techos.* Se utilizó mampostería de ladrillo aireado de color más claro en las fachadas (albedo 0.4; emisividad 0.9), en lugar de ladrillos comunes, y cubiertas de chapa de aluminio (albedo 0.8; emisividad 0.10) en lugar de chapa de acero galvanizado.

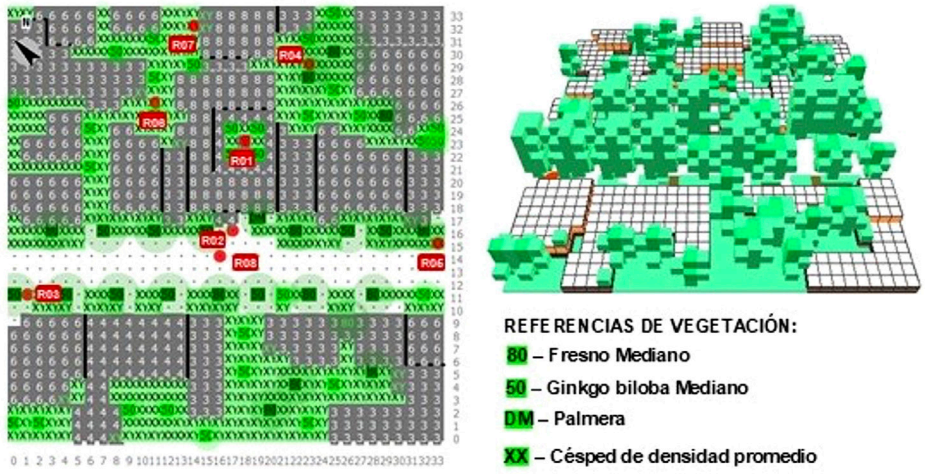


Figura 11

Propuesta de rehabilitación. Modelización ENVI-met, con ubicación de receptores (izquierda). Modelización 3D ENVI-met (derecha). Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

Tabla 1. Comparación de las variables microclimáticas simuladas a las 15:00 h del día 11 de febrero de 2025 del Caso Base y de la propuesta de rehabilitación

REC.	DESCRIPCIÓN	T (°C) BASE	T (°C) PROP.	TMR (°C) BASE	TMR (°C) PROP.	HR (%) BASE	HR (%) PROP.	VEL. DEL VIENTO (m/s) BASE	VEL. DEL VIENTO (m/s) PROP.	RAD. DIRECTA (W/m²) BASE	RAD. DIRECTA (W/m²) PROP.	RAD. REFLEJADA (W/m²) BASE	RAD. REFLEJADA (W/m²) PROP.
R01	Patio interno EEP Nº 116	41,3	40,4	75,6	52,8	23	24	0,08	0,14	948	83	276-304	243-277
R02	Acceso EEP Nº 116	40,6	39,7	73,6	50,8	24	25	0,1	0,16	948	83	246-277	175-209
R03	Vereda esquina noroeste	41,5	40,5	74,7	54,2	23	24	0,8	0,95	948	152	218-247	175-209
R04	Patio de vivienda con vegetación	42,1	41,8	61,7	62,0	22	23	2,13	1,86	476	476	189-218	107-141
R05	Vereda esquina sureste	41,4	40,8	60,3	61,0	23	24	1,93	1,75	327	327	218-247	344-379
R06	Patio de vivienda sin vegetación	43,2	42,5	77,7	68,7	21	22	1,52	1,49	948	599	304-333	243-277
R07	Patio de vivienda sin vegetación	43,4	43,2	77,6	69,5	21	21	2,46	2,24	948	568	304-333	310-345
R08	Canal vial Hipólito Irigoyen	40,6	39,7	71,8	67,8	24	25	0,62	0,61	948	673	189-218	344-379

Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

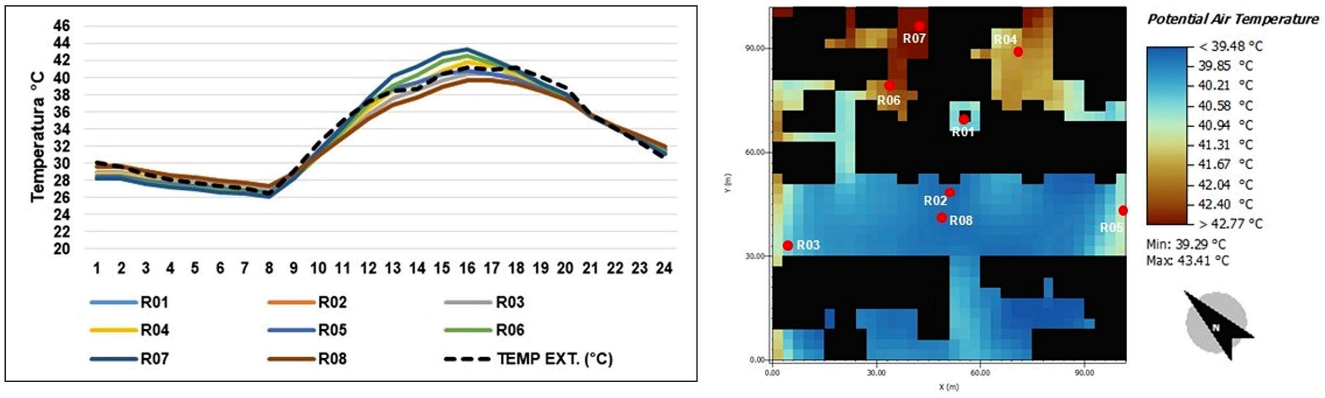
Al comparar los resultados de la propuesta de rehabilitación con el Caso Base en sus valores diarios y extremos (Tabla 1), se obtuvieron las siguientes mejoras:

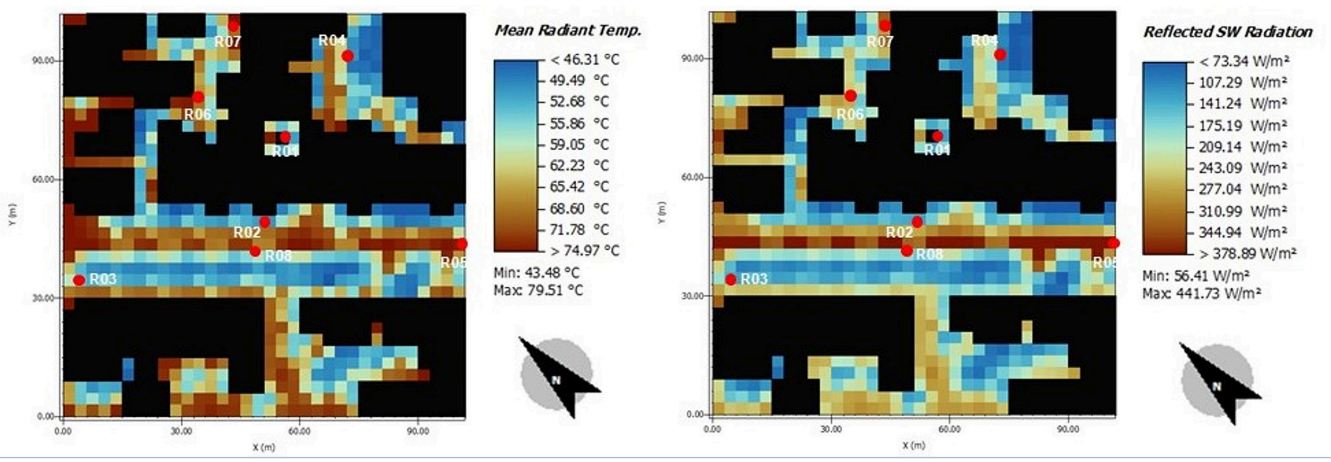
- Reducción de la temperatura del aire en zonas clave, entre 0,9 y 1,1 °C, y de la temperatura media radiante, entre 15 y 29,3 °C durante las horas críticas. Estos efectos se asocian a la sombra proyectada por el nuevo arbolado, la incorporación de cobertura vegetal en el suelo, el uso de materiales de colores más claros que reflejan la radiación solar y el cambio de la materialidad de muros y cubiertas.
- Aumento leve de la humedad relativa en todos los puntos de registro, especialmente durante la madrugada y las primeras horas del día, como resultado de la evapotranspiración de la vegetación y de la menor temperatura superficial alcanzada en el escenario intervenido.
- Aunque algunas áreas confinadas (como patios internos o espacios semicerrados) mantienen temperaturas elevadas debido a su condición de encierro, la presencia de vegetación atenúa el ritmo de ascenso térmico y la severidad del calor en horas críticas. Asimismo, filtra suavemente el viento, generando zonas sombreadas más frescas y reduciendo ligeramente su velocidad en determinados sectores.

En la distribución de temperatura del aire en Leonardo (Figura 12, derecha) se destacan zonas centrales más frías (tonos azules) entre 39,3 y 40 °C, vinculadas a la mayor cobertura vegetal. Los bordes superiores muestran zonas más cálidas (tonos marrones) de 42 °C en promedio, asociados a la orientación y la morfología de encierro existente.

Figura 12 [arriba]
Propuesta de rehabilitación. Evolución de temperaturas de receptores (izquierda). Visualización en Leonardo de la distribución de temperaturas a las 15:00 h a 1,50 m de altura (derecha).
Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.

Figura 13 [abajo]
Propuesta de rehabilitación. Visualización en Leonardo a las 15:00 h a 1,50 m de altura de la distribución de la temperatura media radiante (izquierda) y de la radiación
Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.





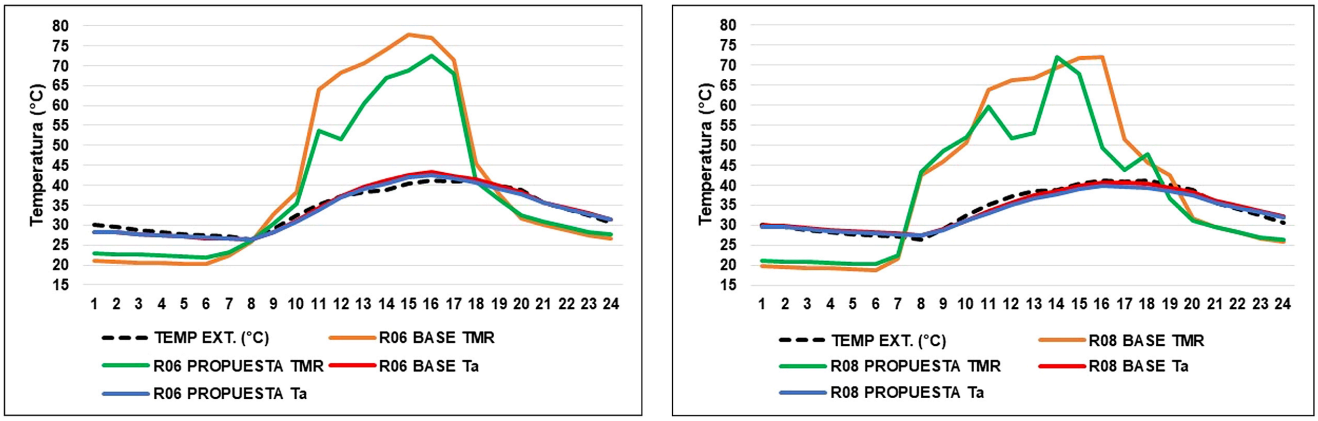
La distribución de la temperatura media radiante en concordancia con la radiación reflejada (Figura 13), muestra áreas lineales más frías (azules) entre 43 y 60 °C, que corresponden a corredores sombreados por árboles o edificios. Las zonas marrones, entre 60 y 79 °C, coinciden con superficies expuestas, veredas o techos que reciben radiación directa o espacios más cerrados donde se acumula calor.

Al contrastar la evolución diaria de la temperatura del aire y de la temperatura media radiante de los receptores (Figura 14), se evidencia el impacto favorable de las estrategias aplicadas, especialmente en el período de mayor temperatura exterior y de mayor exposición solar. Este comportamiento resultó más significativo en el canal vial, donde la combinación de un pavimento de mayor albedo y el arbolado de alineación contribuyó a la amortiguación de las temperaturas extremas. En el período nocturno, la moderación térmica persiste en la temperatura del aire, mientras que la TMR asciende levemente con relación al escenario base, dado el incremento de la cobertura arbórea.

Figura 14

Comparación de la evolución de temperatura del aire y de la temperatura media radiante del Caso Base y la propuesta de rehabilitación. Receptores R06 (patio de vivienda) y R08 (calle Hipólito Irigoyen).

Fuente: adaptado de González (2025), con procesamiento y edición gráfica de María Laura Boutet.



Los hallazgos de la presente investigación se alinean de manera clara con las tendencias registradas en la literatura internacional, como los estudios de Santamouris y equipo (2017; 2011), Limor Shashua-Bar, Ioannis Tsiros y Michel Hoffman (2010), Fazia Ali-Toudert (2005) y Loyde Vieira de Abreu-Harbich, Lucila Labaki y Andreas Matzarakis (2014), entre otros. Además, aportan evidencia local para la ciudad de Resistencia, caracterizada por condiciones climáticas cálidas y húmedas, y refuerzan la importancia de las soluciones integradas, tal como señalan los estudios de Alchapar et al. (2018) y Sosa, Correa y Cantón (2020), donde la combinación de estrategias morfológicas, vegetación y control de las propiedades ópticas de los materiales (albedo y emisividad) presenta el mejor desempeño, potenciándose los beneficios individuales.

Si bien en algunos patios internos el encierro morfológico limita la disipación del calor acumulado –una condición también reportada en la literatura sobre espacios con baja exposición al cielo–, los resultados confirman que el incremento estratégico de vegetación y la mejora en las propiedades ópticas de los materiales fortalecen el balance energético local y contribuyen a suavizar el ascenso térmico incluso en las últimas horas del día. Esto pone de manifiesto la necesidad de considerar, en términos proyectuales, un equilibrio adecuado entre morfología urbana y masa vegetal, evitando configuraciones que reduzcan excesivamente la vista al cielo y dificulten el enfriamiento radiativo nocturno.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

En continuidad con estos resultados, el análisis del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia muestra que, si bien existe una alta diversidad taxonómica –con más de 100 especies registradas en el microcentro–, predomina el uso de especies exóticas por sobre las nativas (Ortiz y Luna, 2019). Esta situación evidencia la necesidad de reorientar las políticas de plantación hacia la incorporación de especies autóctonas, mejor adaptadas a las condiciones ambientales locales y con un rol relevante en la provisión de servicios ecosistémicos (Luna et al., 2024). En este sentido, en otra instancia de aplicación, podría priorizarse la utilización de especies nativas o adaptadas al clima del nordeste argentino, como *Peltophorum dubium* (Ibirá pitá) en reemplazo de Ginkgo biloba y *Ruprechtia laxiflora* (Viraró) en lugar de fresno (*Fraxinus*), en función de su mayor resiliencia climática, menor requerimiento hídrico y mayor aporte a la biodiversidad local.

Si bien el Ginkgo biloba y el fresno presentan una elevada tolerancia a condiciones urbanas adversas, su carácter exótico limita su contribución a la biodiversidad local y su adecuación a las condiciones climáticas del nordeste argentino. En esta línea, la incorporación de especies nativas en ENVI-met, en futuras instancias de investigación, permitirá optimizar los resultados en términos de desempeño microclimático y adaptación al contexto local, favoreciendo una mayor estabilidad frente a la variabilidad climática regional y una contribución más significativa a servicios ecosistémicos complejos.

Conclusiones y reflexiones finales

El estudio realizado permitió verificar que la integración del diseño pasivo mediante estrategias de rehabilitación microclimática constituye un factor relevante para mejorar la calidad ambiental del entorno residencial. Al mismo tiempo, el uso de herramientas de simulación y diagnóstico evidenció su valor para cuantificar estos beneficios y orientar decisiones de diseño más fundamentadas.

Las simulaciones mostraron que intervenciones como el incremento y la redistribución estratégica del arbolado urbano, el uso de materiales de mayor albedo y la mejora de la continuidad espacial contribuyen a atenuar la temperatura del aire y la temperatura media radiante en las horas de mayor exigencia térmica. Estos efectos son conducentes a una mejora del confort térmico exterior y una potencial reducción del efecto de isla de calor urbana, si dichas estrategias fueran implementadas de manera sistemática en todo el barrio. Asimismo, la mejora del microclima en torno al edificio escolar de referencia se traducirá en condiciones de bienestar más favorables en sus espacios interiores.

En conjunto, la investigación corrobora que la aplicación combinada de estrategias bioclimáticas pasivas resulta eficaz para mitigar temperaturas extremas y mejorar el confort térmico exterior en sectores residenciales-educativos de climas cálidos. Los resultados obtenidos no sólo se inscriben en la línea de aportes internacionales más robustos, sino que también evidencian el potencial de ENVI-met como herramienta de diagnóstico y apoyo al diseño urbano sustentable, contribuyendo a la toma de decisiones fundamentadas para mitigar el efecto de isla de calor urbana y avanzar hacia entornos más saludables y resilientes en la ciudad de Resistencia. En este sentido, la metodología aplicada constituye un aporte operativo replicable en otras áreas

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

de la ciudad y potencialmente transferible a distintas localidades del NEA con condiciones urbano-ambientales similares.
Como línea futura, la investigación prevé incorporar dimensiones socioculturales e institucionales, a través de la participación comunitaria y del fortalecimiento del rol de la escuela como agente territorial, con el objetivo de avanzar hacia la implementación de estas estrategias y ampliar su impacto en la calidad de vida de la población, en articulación con políticas públicas y planes de adaptación climática ■

REFERENCIAS

Alchapar, Noelia Liliana y Correa, Érica Norma (2016). Diseñar pautas para reducir las temperaturas urbanas en regiones con alta productividad solar. Parámetros morfológicos y materiales. *Hábitat Sustentable*, *6*(1), 84-95. https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2366

Alchapar, Noelia Liliana; Pezzuto, Claudia Cotrim y Correa, Érica Norma (2018). Parámetros urbanos morfo-materiales y su correlación con las temperaturas de aire en verano. *Ambiente Construido, 18*(4), 199-213. https://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400301

Abreu-Harbich, Loyde Vieira de; Labaki, Lucila C.; Matzarakis, Andreas (2014) Thermal Bioclimate in Idealized Urban Street Canyons in Campinas, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, *115*, 333-340.

Ali-Toudert, Fazia (2005). Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate. Freiburg, 2005. 224 f. Dissertation - Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Freiburg.

Bakarmana, Mohammed A. y Changa, Jae D. (2015). The influence of height/width ratio on urban heat island in hot-arid climates. *Procedia Engineering, 118*, 101-108. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.408

Boutet, María Laura (2024). Valoración ambiental de estrategias de rehabilitación microclimática del entorno inmediato a un edificio educativo en la ciudad de Resistencia, Chaco. *Jornadas de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas FAU – UNNE 2024*. Resistencia, 7 y 8 de noviembre.

Boutet, María Laura (2022). Propuesta de rehabilitación microclimática urbana del entorno inmediato a un Jardín de Infantes en la ciudad de Resistencia, Chaco. Trabajo Final Integrador del curso de Posgrado Avanzado "Bioclimatología Aplicada al Diseño Urbano Sustentable. Herramientas de Valoración Energética y Ambiental. Centro Científico Tecnológico CONICET - Mendoza (CCT Mendoza); avalado por Secretaría de Investigación, Internacionales y Posgrado de la Universidad Nacional de Cuyo. [Inédito].

Boutet, María Laura (2017). *Acondicionamiento higrotérmico-lumínico de edificios escolares en zonas urbanas de la región N.E.A. Auditorías energéticas y propuestas de mejoras mediante diseño solar pasivo*. [Tesis de Doctorado en Ciencias – Área Energías Renovables]. Facultad de Ciencias Exactas/Universidad Nacional de Salta. Director: Hernández, Alejandro Luis.

Bruse, Michael (1999). *The influences of local environmental design on microclimate*. University of Bochum.

Castillo, Ana; Correa Cantaloube, Érica Norma y Cantón, María Alicia (2022). Propuestas de desarrollo urbano energético y ambientalmente sustentable de áreas de piedemonte en zonas áridas. Mendoza, Argentina. *Revista de Urbanismo*, (47), 115-135. https://doi.org/10.5354/0717-5051.2022.64896

Chen, Yimin; Li, Xia; Zheng, Yong; Guan, Yanyan y Liu, Xiaoping (2011). Estimating the Relationship Between Urban Forms and Energy Consumption: a case study in the Pearl River Delta, 2005–2008. *Landscape and Urban Planning*, *102*(1), 33-42. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.007

Gomes Ribeiro, Paulo Jorge y Pena Jardim Gonçalves, Luís Antonio (2019). Urban resilience: A conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, *50*, 101625. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101625

González, Amanda Magalí (2025). *Estudio y aplicación de software específico para la evaluación y rehabilitación microclimática, en un fragmento urbano residencial-educativo de Resistencia, Chaco*. Informe Final de Beca Chaco+i. Instituto Chaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación. Directora: Boutet, M. L. (IIDTHH-CONICET-UNNE).

López, Leonardo; González, Amanda; Lembo Blanco, Paula y Boutet, María Laura (2025). *Esquema tridimensional del área de estudio (Barrio Villa del Carmen)*. [Informe interno no publicado, Proyecto acreditado PI 23X002-SGCyT-UNNE]. IIDTHH–CONICET–UNNE.

Luna, Claudia; Fontana, María Laura; Ortiz, Nicolás Leandro; Talavera, Gonzalo; Poupard, Magalí; Bertolo, Dario y Cristiá, Alejandro Javier (2024). Diversidad y servicios ecosistémicos de la ciudad de Corrientes: Aportes del dosel arbóreo urbano costero. *Proyección Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, *18*(35), 145-169. https://doi.org/10.48162/rev.55.057

Middel, Ariane; Häb, Kathrin; Brazel, Anthony J.; Martin, Chris A. y Guhathakurta, Subhrajit (2014). Impact of urban form and design on midafternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, (122), 16-28. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004

Muniz Gaal, Ligia Perreira y Pezzuto, Claudia Cotrim (2016). Efeito dos Parâmetros Urbanísticos na Variação Microclimática de Um Cânion Urbano. En *Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*, 16, São Paulo. ANTAC.

Ortiz, Nicolás Leandro y Luna, Claudia Verónica (2019). Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia, Chaco-Argentina. *Agronomía & Ambiente*, *39*(2), 54-68. https://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php?journal=AyA&page=article&op=view&path%5B%5D=97

Pezzuto, Claudia Cotrim (2007). *Avaliação do Ambiente Térmico nos Espaços Urbanos Abertos: estudo de caso em Campinas, SP. Campinas* [Tese Doutorado em Engenharia Civil] - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo/Universidade Estadual de Campinas.

Romero, Luis María Rafael (2025). Análisis de Eventos Extremos de Temperatura Máximas y Mínimas Diarias Cálidas en el Semestre Cálido (Octubre a Marzo) en la Ciudad De Resistencia. Período 1981-2025. Informe Interno como contribución al PI 23X002 (SGCyT – UNNE). [Inédito] Directora: Boutet, M. L. (IIDTHH-CONICET-UNNE).

Ruiz, M. Angélica; Sosa, María Belén; Correa, Érica Norma y Cantón, M. Alicia (2017). Design tool to improve daytime thermal comfort and nighttime cooling of urban canyons. *Urban Planning and Landscape*, (167), 249-256. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.002

San Juan, Gustavo (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI. Nota 5. Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares*. Banco Interamericano de Desarrollo.

San Juan, Gustavo (2008). *Comportamiento Energético - Productivo y Ambiental de la Gestión de Redes Edilicias de Educación. Un enfoque sistémico en el continuo de escalas del hábitat*. [Tesis de Doctorado en Ciencias - Área Energías Renovables]. FCE/UNSa. Director: Dr. Elías Rosenfeld - Codirector: Dr. Alejandro Hernández. Salta, Argentina.

Santamouris, Matthaios; Ding, Lan; Fiorito, Francesco; Oldfield, Philip; Osmonsd, Paul W.; Paolini, Riccardo; Prasad, Deo K. y Sunnefa, Afroditi (2017). Passive and Active Cooling for the Outdoor Built Environment: analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy*, *154*(15), 14-33. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006

Santamouris, Matthaios; Synnefa, Afroditi; Karlessi, Theoni (2011). Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. *Solar Energy*, *85*(12), 3085-3102. https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023

Shashua-Bar, Limor; Tsiros, Ioannis X. y Hoffman, Milo E. (2010). A Modeling Study For Evaluating Passive Cooling Scenarios in Urban Streets with Trees: case study, Athens, Greece. *Building and Environment*, 45(12), 2798-2807. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.06.008

Sanusi, Rusana; Johnstone, Denise; May, Peter y Livesley, Stephen J. (2016). Street orientation and side of the street greatly influence the microclimatic benefits street trees can provide in summer. *Journal of Environmental Quality*, *45*(1), 167-174. https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0039

Scornik, Marina (2007). Áreas Urbanas Vulnerables. Algunas consideraciones para un sector de Resistencia, Chaco. *Cuaderno Urbano*, (6), 127-150.

Sosa, María Belén (2017). *Estrategias de mitigación de islas de calor. Sostenibilidad ambiental y eficiencia energética de perfiles urbanos de baja densidad en zonas áridas*. Universidad Nacional de Salta. URI: http://hdl.handle.net/11336/94575

Sosa, María; Correa, Érica y Cantón, María Alicia (2020). Eficacia de estrategias de disminución del calentamiento urbano. Estudio para una ciudad de clima árido. *Informes de la Construcción*, *72*(559), e352. https://dx.doi.org/10.3989/ic.66662

Stocco, Susana (2016). *Impacto de la morfología y materialidad de las plazas en la calidad energético-ambiental de ciudades*. Universidad Nacional de Salta.

Tsoka, Sophia; Tsikaloudaki, Katerina G. y Theodosiou, Theodoros G. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review. *Sustainable Cities and Society*, (43), 55-76. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009

Yucekaya, Murat y Uslu, Cengiz (2020). An analytical model proposal to design urban open spaces in balance with climate: A case study of Gaziantep. *Land Use Policy*, *95*(4), 104564. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104564