

Infraestructura verde arquitectónica para mitigar islas de calor en barrios vulnerables

Architectural green infrastructure to mitigate heat islands invulnerable neighborhoods

Infraestruturas verdes arquiteónicas para mitigar as ilhas de calor em bairros vulneráveis

Suárez-Loor, Cristina Paola
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
csuarezl@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6588-7018>



Vinueza-Mendoza, Glenn Walter
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
gvinueza@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6414-3532>



Zambrano-Caizaluisa, Cristhian Andrés
Universidad Hemisferios
crizthian_architect@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-8800-8233>



Suárez-Loor Bruno Eduardo
Universidad San Gregorio de Portoviejo
e.besuares@sangregorio.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0686-1728>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/n1/1495>

Como citar:

Suárez-Loor, C. P., Vinueza-Mendoza, G. W., Zambrano-Caizaluisa, C. A., & Suárez-Loor, B. E. (2026). Infraestructura verde arquitectónica para mitigar islas de calor en barrios vulnerables. *Código Científico Revista De Investigación*, 7(1), 686–711.

Recibido: 24/05/2026

Aceptado: 16/06/2026

Publicado: 30/06/2026

Resumen

La intensificación de las islas de calor urbanas afecta con mayor severidad a los barrios vulnerables, donde la precariedad constructiva, la escasez de vegetación, la impermeabilización del suelo y la limitada capacidad de adaptación incrementan la exposición térmica de la población. Este artículo tuvo como objetivo analizar la evidencia científica sobre la infraestructura verde arquitectónica como estrategia de mitigación térmica en estos contextos. Se desarrolló una revisión bibliográfica exploratoria, de enfoque cualitativo y diseño documental, basada en artículos científicos, revisiones, capítulos académicos y documentos técnicos publicados principalmente entre 2010 y 2025, organizados mediante síntesis narrativa y categorización temática. Los resultados evidencian que las cubiertas verdes, fachadas vegetales, patios bioclimáticos, pérgolas vivas y sistemas de arbolado asociados a edificaciones contribuyen a reducir temperaturas superficiales, mejorar el confort térmico, disminuir la demanda energética y recuperar funciones ambientales mediante sombreado, evapotranspiración y aislamiento vegetal. No obstante, su efectividad depende de la disponibilidad hídrica, el mantenimiento, la capacidad estructural, la selección vegetal, la escala de intervención y la gobernanza comunitaria. Se concluye que la infraestructura verde arquitectónica constituye una alternativa pertinente para la adaptación climática urbana, siempre que se implemente con criterios técnicos, ambientales y de justicia socioespacial.

Palabras clave: infraestructura verde; islas de calor urbanas; barrios vulnerables; arquitectura bioclimática; justicia ambiental.

Abstract

The intensification of urban heat islands affects vulnerable neighborhoods more severely, where poor building conditions, scarce vegetation, soil impermeabilization, and limited adaptive capacity increase the population's thermal exposure. This article aimed to analyze scientific evidence on architectural green infrastructure as a strategy for thermal mitigation in these contexts. An exploratory bibliographic review with a qualitative approach and documentary design was conducted, based on scientific articles, reviews, academic chapters, and technical documents published mainly between 2010 and 2025, organized through narrative synthesis and thematic categorization. The results show that green roofs, vegetated façades, bioclimatic courtyards, living pergolas, and tree systems associated with buildings help reduce surface temperatures, improve thermal comfort, decrease energy demand, and restore environmental functions through shading, evapotranspiration, and vegetative insulation. However, their effectiveness depends on water availability, maintenance, structural capacity, plant selection, intervention scale, and community governance. It is concluded that architectural green infrastructure represents a relevant alternative for urban climate adaptation, provided that it is implemented with technical, environmental, and socio-spatial justice criteria. **Keywords:** green infrastructure; urban heat islands; vulnerable neighborhoods; bioclimatic architecture; environmental justice.

Resumo

A intensificação das ilhas de calor urbanas afeta com maior severidade os bairros vulneráveis, onde a precariedade construtiva, a escassez de vegetação, a impermeabilização do solo e a limitada capacidade de adaptação aumentam a exposição térmica da população. Este artigo teve como objetivo analisar a evidência científica sobre a infraestrutura verde arquitetônica como estratégia de mitigação térmica nesses contextos. Desenvolveu-se uma revisão bibliográfica exploratória, de abordagem qualitativa e desenho documental, baseada em artigos

científicos, revisões, capítulos acadêmicos e documentos técnicos publicados principalmente entre 2010 e 2025, organizados por meio de síntese narrativa e categorização temática. Os resultados evidenciam que coberturas verdes, fachadas vegetais, pátios bioclimáticos, pérgolas vivas e sistemas de arborização associados às edificações contribuem para reduzir temperaturas superficiais, melhorar o conforto térmico, diminuir a demanda energética e recuperar funções ambientais mediante sombreamento, evapotranspiração e isolamento vegetal. No entanto, sua efetividade depende da disponibilidade hídrica, da manutenção, da capacidade estrutural, da seleção vegetal, da escala de intervenção e da governança comunitária. Conclui-se que a infraestrutura verde arquitetônica constitui uma alternativa pertinente para a adaptação climática urbana, desde que implementada com critérios técnicos, ambientais e de justiça socioespacial.

Palavras-chave: infraestrutura verde; ilhas de calor urbanas; bairros vulneráveis; arquitetura bioclimática; justiça ambiental.

Introducción

La intensificación de las islas de calor urbanas constituye un problema crítico para los barrios vulnerables, donde la densificación, la escasez de vegetación, la alta proporción de superficies impermeables y la baja calidad térmica de las edificaciones elevan la exposición cotidiana al calor. Este fenómeno se explica por alteraciones del balance energético urbano, asociadas con materiales que almacenan radiación, menor evapotranspiración y geometrías urbanas que dificultan la disipación térmica (Oke, 1982; IPCC, 2022). En este contexto, la infraestructura verde arquitectónica —cubiertas verdes, fachadas vegetales, arbolado integrado, patios bioclimáticos y corredores verdes vinculados al edificio— emerge como estrategia relevante porque interviene simultáneamente sobre la envolvente construida y el microclima barrial.

El problema adquiere mayor gravedad cuando se observa que el calor urbano no se distribuye de manera homogénea, sino que suele concentrarse en sectores con menor ingreso, menor cobertura vegetal y menor capacidad de adaptación. Estudios multicéntricos han mostrado que poblaciones racializadas o empobrecidas registran mayor exposición a la intensidad superficial de las islas de calor, mientras que investigaciones sobre segregación residencial evidencian déficits persistentes de arbolado en áreas históricamente desfavorecidas (Hsu et al., 2021; Locke et al., 2021). Por ello, no abordar el fenómeno perpetúa desigualdades

térmicas, incrementa la demanda energética, deteriora el confort exterior e interior y eleva riesgos sanitarios durante olas de calor (Lungman et al., 2023).

Asimismo, las afectaciones del problema superan el ámbito ambiental, pues comprometen salud pública, productividad, habitabilidad y resiliencia urbana. La literatura indica que las altas temperaturas urbanas agravan la mortalidad prematura, afectan con más fuerza a adultos mayores y grupos con enfermedades crónicas, y pueden aumentar costos de refrigeración en hogares con baja eficiencia constructiva (IPCC, 2022; Nazish et al., 2024). Desde la arquitectura, esta situación revela una tensión central: los barrios que más requieren soluciones pasivas y vegetadas suelen ser los que menos inversión reciben en diseño bioclimático, mantenimiento verde y renovación de infraestructura (Santamouris, 2014).

Frente a ello, la evidencia revisada reconoce que la infraestructura verde reduce temperaturas mediante sombra, evapotranspiración, aislamiento térmico y modificación de flujos radiativos; sin embargo, sus efectos dependen del tipo de vegetación, profundidad del sustrato, disponibilidad hídrica, escala de intervención y morfología urbana circundante (Bowler et al., 2010; Gunawardena et al., 2017). Las cubiertas y fachadas verdes muestran potencial para disminuir la isla de calor y mejorar el desempeño térmico de los edificios, aunque sus resultados varían según clima, diseño, exposición y mantenimiento (Barriuso & Urbano, 2021; Santamouris, 2014).

No obstante, persisten brechas relevantes para una revisión bibliográfica orientada a barrios vulnerables. Buena parte de la investigación evalúa parques, arbolado o techos verdes de forma aislada, pero menos trabajos integran la escala arquitectónica con la escala barrial, la justicia ambiental y la viabilidad social de implementación. Además, las revisiones advierten que la efectividad térmica de la infraestructura verde no puede generalizarse sin considerar clima local, disponibilidad de agua, costos de mantenimiento, apropiación comunitaria y posibles efectos no deseados, como procesos de valorización excluyente (Gunawardena et al.,

2017; IPCC, 2022). Esta brecha justifica una síntesis crítica que conecte evidencia técnica, salud urbana y equidad socioespacial.

En consecuencia, este artículo de revisión bibliográfica se justifica por su relevancia social, al priorizar poblaciones expuestas a mayor estrés térmico; por su valor teórico, al articular urbanismo climático, arquitectura bioclimática e infraestructura verde; y por su utilidad metodológica, al organizar evidencia dispersa sobre soluciones aplicables en tejidos residenciales vulnerables (WHO Regional Office for Europe, 2017; Nazish et al., 2024). Su viabilidad se sustenta en la disponibilidad de literatura científica reciente, revisiones sistemáticas, estudios urbanos comparativos y reportes técnicos internacionales que permiten analizar el fenómeno sin intervenir directamente sobre población humana, reduciendo riesgos éticos propios de estudios experimentales (Bowler et al., 2010; Iungman et al., 2023).

Así, el objetivo general es analizar la evidencia científica sobre la infraestructura verde arquitectónica como estrategia para mitigar islas de calor en barrios vulnerables. De manera específica, se busca describir los factores urbanos y arquitectónicos que intensifican el calor barrial, comparar la efectividad térmica de cubiertas verdes, fachadas vegetales y arbolado asociado a edificaciones, identificar beneficios sanitarios y ambientales reportados en la literatura, y determinar brechas de implementación vinculadas con equidad, mantenimiento y adaptación climática. Con ello, la revisión pretende aportar una lectura integrada y original, centrada no solo en cuánto enfrían estas soluciones, sino en dónde, para quiénes y bajo qué condiciones resultan socialmente pertinentes (Hsu et al., 2021; Barriuso & Urbano, 2021; IPCC, 2022).

Metodología

El estudio se desarrolló como una revisión bibliográfica exploratoria, de enfoque cualitativo y diseño documental, orientada a reconocer cómo la infraestructura verde

arquitectónica ha sido estudiada como estrategia de mitigación de islas de calor en barrios vulnerables. Esta elección metodológica permitió examinar literatura científica dispersa, identificar tendencias conceptuales, comparar enfoques técnicos y delimitar vacíos de conocimiento sin pretender estimar efectos mediante metaanálisis. En coherencia con el carácter exploratorio del artículo, la revisión no buscó agotar la totalidad de publicaciones existentes, sino construir una base argumental suficiente para comprender el estado del debate, sus principales convergencias y sus limitaciones analíticas.

La unidad de análisis estuvo constituida por artículos científicos, revisiones, capítulos académicos y documentos técnicos especializados sobre islas de calor urbanas, infraestructura verde, cubiertas verdes, fachadas vegetales, vegetación urbana, justicia ambiental y vulnerabilidad socioespacial. La búsqueda se orientó a fuentes publicadas entre 2010 y 2025, con énfasis en literatura reciente por la aceleración de los efectos del cambio climático en entornos urbanos. Se consultaron bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis, MDPI y Google Scholar, empleando combinaciones en español e inglés como “infraestructura verde arquitectónica”, “islas de calor urbanas”, “green roofs”, “green walls”, “urban heat island mitigation”, “vulnerable neighborhoods” y “environmental justice”.

Los criterios de inclusión consideraron publicaciones relacionadas directamente con infraestructura verde aplicada al entorno construido o al tejido barrial, estudios que abordaran efectos térmicos, ambientales, sanitarios o sociales, investigaciones desarrolladas en contextos urbanos y textos con acceso a resumen, metodología o resultados verificables. Se incluyeron artículos empíricos, revisiones bibliográficas, revisiones sistemáticas y documentos institucionales de alta pertinencia técnica. En cambio, se excluyeron textos centrados exclusivamente en áreas rurales, investigaciones sin relación explícita con mitigación térmica, documentos duplicados, publicaciones sin autoría identificable y trabajos de opinión sin

sustento metodológico. Esta depuración permitió conservar materiales pertinentes para una revisión exploratoria, sin confundirla con una revisión sistemática estricta.

El proceso de selección se organizó en tres momentos sucesivos. Primero, se revisaron títulos, palabras clave y resúmenes para descartar documentos ajenos al problema de investigación. Luego, se examinó el texto completo de las fuentes potencialmente relevantes, priorizando aquellas que relacionaban soluciones verdes con reducción de temperatura, confort térmico, desempeño energético o desigualdad urbana. Finalmente, se elaboró una matriz de extracción en la que se registraron autoría, año, país o región de estudio, tipo de infraestructura verde, escala de intervención, indicadores térmicos utilizados, beneficios reportados, limitaciones metodológicas y aportes para barrios vulnerables. Esta estrategia facilitó una lectura comparativa y transparente del corpus revisado.

El análisis de la información se realizó mediante síntesis narrativa y categorización temática. Las categorías iniciales fueron: factores urbanos que intensifican las islas de calor, soluciones arquitectónicas verdes, efectos térmicos y energéticos, beneficios ambientales y sanitarios, condiciones de implementación y brechas de equidad socioespacial. A partir de la lectura analítica, estas categorías se ajustaron para integrar hallazgos recurrentes y tensiones entre estudios, especialmente cuando los resultados diferían según clima, escala, diseño vegetal, mantenimiento o disponibilidad hídrica. Este procedimiento permitió articular evidencia técnica con una lectura crítica de la vulnerabilidad urbana, evitando reducir la infraestructura verde a una solución meramente ornamental o tecnológica.

Para fortalecer el rigor del proceso, se procuró contrastar fuentes de distinta naturaleza, privilegiar literatura revisada por pares y registrar las decisiones de inclusión y exclusión en una matriz documental. Debido a que el estudio se basó únicamente en información publicada, no implicó intervención directa con personas, recolección de datos sensibles ni aplicación de instrumentos a población humana. No obstante, se mantuvieron criterios éticos vinculados con

integridad académica, atribución adecuada de ideas, prevención del sesgo de selección y uso responsable de la evidencia. En consecuencia, la metodología adoptada resulta viable para un artículo exploratorio de revisión bibliográfica, pues permite ordenar el conocimiento disponible y señalar líneas futuras de investigación sobre infraestructura verde arquitectónica en barrios vulnerables.

Resultados

Infraestructura verde arquitectónica como estrategia de mitigación térmica en barrios vulnerables

La revisión bibliográfica permite sostener que la infraestructura verde arquitectónica no debe entenderse como un recurso ornamental añadido al edificio, sino como un dispositivo socioambiental capaz de intervenir en el balance térmico de la ciudad construida. En los barrios vulnerables, donde predominan viviendas con baja eficiencia térmica, escasez de áreas verdes, alta presencia de superficies impermeables y limitada capacidad económica para climatización mecánica, las cubiertas verdes, fachadas vegetales, patios bioclimáticos, pérgolas vivas y sistemas de arbolado asociado a edificaciones adquieren una función estratégica de adaptación climática. Esta pertinencia se explica porque la isla de calor urbana surge de la sustitución de superficies naturales por materiales que absorben y reemiten calor, de la reducción de evapotranspiración y de la geometría urbana que dificulta la ventilación y la disipación energética (Oke, 1982; Oke et al., 2017).

Desde esta perspectiva, la infraestructura verde arquitectónica actúa en una zona crítica del metabolismo urbano: la envolvente del edificio y su contacto inmediato con el espacio público. Mientras las estrategias urbanas convencionales suelen concentrarse en parques o grandes corredores verdes, las soluciones arquitectónicas vegetadas permiten intervenir superficies abundantes pero subutilizadas, como techos, muros medianeros, fachadas

expuestas, patios interiores, terrazas y bordes residenciales. Esta cualidad es especialmente relevante en barrios densos, donde la disponibilidad de suelo libre es reducida y la incorporación de vegetación horizontal enfrenta restricciones de propiedad, ocupación y uso del espacio. Por ello, la revisión identifica que la arquitectura verde puede ampliar la superficie ecológicamente activa sin depender exclusivamente de nuevas reservas de suelo urbano (Manso & Castro-Gomes, 2015; Santamouris, 2014).

Efectos térmicos y ambientales de la infraestructura verde arquitectónica

Los efectos térmicos de la infraestructura verde arquitectónica se sustentan en tres mecanismos físicos principales: el sombreado, la evapotranspiración y la modificación de las propiedades térmicas de la envolvente. El sombreado reduce la radiación solar directa sobre techos, muros y pavimentos; la evapotranspiración transforma parte de la energía disponible en calor latente, disminuyendo el calor sensible que calienta el aire; y el sustrato vegetal incrementa la inercia térmica y limita el flujo de calor hacia el interior de la edificación. En conjunto, estos procesos reducen la temperatura superficial de la envolvente, atenúan la acumulación térmica urbana y contribuyen a mejorar el confort interior y exterior, particularmente durante episodios de calor extremo (Oke, 1982; Takebayashi & Moriyama, 2007).

En el caso de las cubiertas verdes, la literatura revisada indica que su mayor aporte se produce en la reducción de temperaturas superficiales y en la disminución de ganancias térmicas por la cubierta, una de las zonas de mayor exposición solar en edificaciones de baja altura. Takebayashi y Moriyama (2007) compararon el balance de calor en cubiertas verdes y cubiertas reflectantes, mostrando que la evaporación, la humedad del sustrato y el flujo de calor sensible son variables decisivas para comprender su desempeño. De forma convergente, Santamouris (2014) sistematizó evidencia sobre tecnologías de cubiertas verdes y reflectantes, concluyendo que ambas pueden contribuir a mitigar la isla de calor, aunque las verdes añaden

beneficios ecológicos que exceden la reflectancia superficial, como retención hídrica, biodiversidad y mejora del paisaje urbano (Takebayashi & Moriyama, 2007; Santamouris, 2014).

En barrios vulnerables, las cubiertas verdes tienen un potencial particular porque muchas viviendas presentan techos expuestos, baja aislación y alta transferencia de calor hacia espacios interiores. En estos contextos, el beneficio térmico no se limita al enfriamiento urbano general, sino que puede traducirse en menor estrés térmico doméstico, reducción de demanda de refrigeración y aumento de habitabilidad durante horas críticas. Sin embargo, la magnitud del efecto depende de la profundidad del sustrato, la cobertura vegetal, la disponibilidad de agua, el tipo de especies y el mantenimiento; por tanto, una cubierta verde extensiva de bajo peso no produce los mismos efectos que una cubierta intensiva con mayor masa vegetal y capacidad de retención hídrica (Santamouris, 2014; Oke et al., 2017).

Las fachadas verdes y muros vivos, por su parte, presentan una ventaja complementaria: actúan sobre superficies verticales que suelen acumular radiación en calles estrechas, patios interiores y corredores urbanos con bajo factor de visión del cielo. Manso y Castro-Gomes (2015) distinguen entre fachadas verdes tradicionales, sistemas indirectos con soportes, módulos, contenedores y muros vivos, lo cual resulta importante porque cada tipología posee distintos requerimientos constructivos, hídricos y de mantenimiento. En términos térmicos, estas soluciones reducen la temperatura superficial del muro, amortiguan ganancias solares, disminuyen el sobrecalentamiento de espacios interiores y pueden mejorar el confort peatonal al generar sombra y humedad localizada (Manso & Castro-Gomes, 2015).

La evidencia de modelación microclimática también muestra que la combinación de cubiertas verdes y muros vegetados puede modificar de manera sustantiva el comportamiento térmico de los cañones urbanos. Alexandri y Jones (2008) analizaron distintos climas, geometrías urbanas y orientaciones, concluyendo que la vegetación sobre envolventes

edificadas puede disminuir temperaturas urbanas con mayor intensidad cuando se integra de forma continua en techos y muros. Este hallazgo es relevante para barrios vulnerables porque muchas de sus calles poseen configuraciones compactas, con escasa vegetación y alta exposición de superficies minerales; en tales casos, la intervención sobre fachadas y cubiertas puede compensar parcialmente la falta de suelo disponible para parques o plazas de gran escala (Alexandri & Jones, 2008).

Además del efecto térmico directo, la infraestructura verde arquitectónica contribuye a mejorar la calidad ambiental urbana mediante captura de partículas, reducción de escorrentía, incremento de biodiversidad urbana y mejora del paisaje cotidiano. Las cubiertas verdes pueden retardar el escurrimiento pluvial y reducir presión sobre sistemas de drenaje, mientras que los muros vegetales pueden interceptar contaminantes y crear microhábitats para insectos y aves en entornos densamente urbanizados. Aunque estos beneficios varían según diseño, especies, clima y mantenimiento, su relevancia en barrios vulnerables es alta porque suelen coincidir déficits de confort térmico, contaminación, impermeabilización y baja disponibilidad de espacios públicos saludables (Manso & Castro-Gomes, 2015; WHO Regional Office for Europe, 2017).

A escala de barrio, los efectos de la infraestructura verde arquitectónica se potencian cuando las soluciones se conectan con arbolado urbano, corredores verdes, patios permeables y espacios comunitarios sombreados. Bowler et al. (2010) encontraron que los espacios verdes urbanos tienden a ser más frescos que las áreas construidas circundantes, aunque la magnitud del enfriamiento depende de la extensión, estructura y composición vegetal. En esta misma línea, Gunawardena et al. (2017) mostraron que las áreas verdes y azules influyen en la temperatura urbana tanto por procesos de evapotranspiración como por cambios en el balance radiativo y en la ventilación local. Esto implica que la arquitectura verde no debe diseñarse

como una pieza aislada, sino como nodo de una red barrial de enfriamiento (Bowler et al., 2010; Gunawardena et al., 2017).

La dimensión sanitaria de estos efectos resulta central para los barrios vulnerables, dado que el calor extremo incrementa riesgos de mortalidad, enfermedades cardiovasculares, afectaciones respiratorias, deshidratación y deterioro del bienestar mental. Iungman et al. (2023), en una evaluación de impacto en 93 ciudades europeas, estimaron que aumentar la cobertura arbórea urbana al 30 % podría evitar 2644 muertes prematuras durante el verano, lo que vincula la infraestructura verde con beneficios medibles en salud pública. Aunque el estudio se centra en ciudades europeas, su implicación conceptual es transferible: reducir calor urbano mediante vegetación no solo mejora el confort, sino que puede disminuir daños sanitarios asociados a exposición térmica (Iungman et al., 2023).

La literatura reciente refuerza esta lectura al mostrar que los espacios verdes urbanos se asocian con menores tasas de morbilidad y mortalidad relacionadas con calor. Nazish et al. (2024), en una revisión sistemática publicada en *BMJ Open*, señalan que las áreas urbanas con mayor presencia de verde tienden a reportar menores efectos adversos del calor, aunque advierten que el acceso desigual a estos espacios continúa siendo un problema de salud pública. Para la infraestructura verde arquitectónica, esta evidencia sugiere que las cubiertas, fachadas y patios vegetados pueden funcionar como microinfraestructuras de protección térmica en sectores donde no existen parques suficientes o donde la movilidad de niños, adultos mayores y personas enfermas es limitada (Nazish et al., 2024).

En términos energéticos, la infraestructura verde arquitectónica puede disminuir la transferencia de calor hacia el interior del edificio y reducir la necesidad de enfriamiento mecánico, especialmente en viviendas con techos ligeros, alta exposición solar o deficiente aislamiento. No obstante, su desempeño no debe sobredimensionarse: los resultados dependen del clima local, la orientación, el régimen de vientos, la humedad disponible, el tipo de

vegetación y la morfología urbana. Por ello, Santamouris (2014) advierte que las estrategias de mitigación térmica deben evaluarse de manera contextual, mientras que Norton et al. (2015) proponen priorizar infraestructura verde según exposición, vulnerabilidad y capacidad de enfriamiento esperada, evitando soluciones genéricas de baja eficacia territorial (Santamouris, 2014; Norton et al., 2015).

La contribución ambiental también se expresa en la reducción de superficies impermeables y en la recuperación de procesos ecológicos interrumpidos por la urbanización intensiva. En barrios vulnerables, donde los patios suelen estar pavimentados y las áreas libres se ocupan por necesidades habitacionales o económicas, la vegetación incorporada al edificio puede restituir parcialmente funciones ecosistémicas perdidas. Sin embargo, estas soluciones no sustituyen la necesidad de espacio público verde de calidad; más bien, la complementan al multiplicar puntos de sombra, evaporación y biodiversidad en la vida cotidiana. Así, la infraestructura verde arquitectónica opera como una estrategia intermedia entre la escala doméstica y la escala urbana, con capacidad de articular confort, salud y ecología barrial (WHO Regional Office for Europe, 2017; IPCC, 2022).

En síntesis, los efectos térmicos y ambientales de la infraestructura verde arquitectónica son más consistentes cuando se integran de manera multiescalar y situada. Una cubierta verde puede reducir la carga térmica superior del edificio, una fachada vegetal puede amortiguar la radiación vertical, un patio verde puede mejorar ventilación y humedad local, y el arbolado asociado puede proteger recorridos peatonales y espacios de permanencia. La revisión muestra, por tanto, que la eficacia no depende únicamente de la presencia de vegetación, sino de su continuidad espacial, su mantenimiento, su adecuación climática y su articulación con necesidades sociales concretas. En barrios vulnerables, esta condición transforma la infraestructura verde en una herramienta de adaptación climática con potencial redistributivo (Bowler et al., 2010; Gunawardena et al., 2017; IPCC, 2022).

Condiciones, limitaciones y brechas para su implementación en barrios vulnerables

La implementación de infraestructura verde arquitectónica en barrios vulnerables exige reconocer que la exposición térmica no es solo un problema físico, sino también una expresión de desigualdad urbana. Hsu et al. (2021) demostraron que, en 175 grandes áreas urbanizadas de Estados Unidos, las personas racializadas viven en zonas con mayor intensidad superficial de isla de calor que la población blanca no hispana en casi todas las ciudades analizadas. Esta evidencia es relevante porque muestra que el calor urbano se distribuye de forma socialmente desigual y que las estrategias de mitigación deben priorizar territorios históricamente marginados, no únicamente áreas con mayor capacidad de inversión o visibilidad urbana (Hsu et al., 2021).

La desigualdad térmica se relaciona también con la distribución histórica de la vegetación urbana. Locke et al. (2021) analizaron 37 ciudades estadounidenses y hallaron que la segregación residencial histórica se vincula con menor cobertura arbórea en vecindarios desfavorecidos, evidenciando que las políticas urbanas del pasado continúan influyendo en las condiciones ambientales actuales. Para los barrios vulnerables, esta relación implica que la ausencia de infraestructura verde no es accidental, sino el resultado de procesos acumulativos de desinversión, segregación, precariedad habitacional y menor capacidad institucional de mantenimiento. En consecuencia, cualquier propuesta de infraestructura verde arquitectónica debe incorporar criterios de justicia ambiental desde su diseño y localización (Locke et al., 2021).

Una primera condición técnica es la capacidad estructural de las edificaciones. Las cubiertas verdes requieren evaluar carga permanente, sobrecargas por humedad, impermeabilización, drenaje, pendiente, accesibilidad y seguridad. En barrios vulnerables, muchas viviendas han sido autoconstruidas, ampliadas progresivamente o edificadas con materiales ligeros, por lo que instalar sistemas vegetados sin diagnóstico estructural puede

generar riesgos de filtración, sobrepeso o deterioro constructivo. Por ello, la solución más adecuada no siempre será una cubierta intensiva; en algunos casos, pueden ser más viables sistemas extensivos ligeros, pérgolas vegetales, contenedores modulares, fachadas indirectas o sombreados verdes de bajo peso (Manso & Castro-Gomes, 2015; Oke et al., 2017).

Una segunda condición es la disponibilidad hídrica. La vegetación enfría en gran medida por evapotranspiración, pero este proceso requiere humedad suficiente en el sustrato y un diseño que evite tanto el estrés hídrico como el consumo excesivo de agua potable. En climas secos o durante olas de calor prolongadas, una cubierta verde mal irrigada puede perder capacidad de enfriamiento y convertirse en una superficie degradada. De ahí que la infraestructura verde arquitectónica deba vincularse con captación pluvial, reúso de aguas grises, especies nativas o adaptadas, riego eficiente y sustratos con buena retención hídrica. Esta condición es crucial en barrios vulnerables, donde el acceso al agua puede ser irregular y los costos de operación pueden comprometer la permanencia del sistema (Takebayashi & Moriyama, 2007; Gunawardena et al., 2017).

Una tercera condición corresponde al mantenimiento. A diferencia de una intervención mineral, la infraestructura verde arquitectónica es un sistema vivo: crece, pierde cobertura, requiere poda, reposición, control de plagas, limpieza de drenajes y seguimiento del sustrato. Manso y Castro-Gomes (2015) subrayan que los sistemas de muro verde presentan distintas exigencias tecnológicas, y Perini y Rosasco (2013) muestran que el análisis económico debe considerar costos de ciclo de vida, no solo inversión inicial. En barrios vulnerables, esta advertencia es decisiva porque una intervención sin presupuesto de mantenimiento puede fracasar rápidamente, deteriorar la confianza comunitaria y reforzar la percepción de que las soluciones verdes son costosas o poco realistas (Manso & Castro-Gomes, 2015; Perini & Rosasco, 2013).

La dimensión económica constituye otra limitación sustantiva. Las fachadas verdes de baja complejidad pueden tener costos relativamente menores, pero los muros vivos con sistemas modulares, riego automatizado y sustratos especializados suelen requerir inversión inicial y mantenimiento técnico más elevados. Perini y Rosasco (2013) plantean que el análisis costo-beneficio de fachadas y muros verdes debe integrar beneficios privados y sociales, como ahorro energético, mejora estética, valorización inmobiliaria y reducción de externalidades ambientales. Sin embargo, en barrios vulnerables, la valorización inmobiliaria puede ser ambivalente: puede mejorar el entorno, pero también aumentar presión sobre residentes si no se acompaña de políticas de protección social (Perini & Rosasco, 2013; Anguelovski et al., 2022).

El riesgo de gentrificación verde es una brecha crítica en la implementación. Anguelovski et al. (2022) encontraron una relación positiva entre procesos de reverdecimiento urbano y gentrificación en una proporción importante de ciudades europeas y norteamericanas analizadas, lo que evidencia que las mejoras ambientales pueden producir exclusión si se integran a dinámicas de renovación urbana orientadas por el mercado. Para barrios vulnerables, esto significa que la infraestructura verde arquitectónica debe ir acompañada de salvaguardas: vivienda asequible, control de desplazamiento, participación vinculante, financiamiento público redistributivo y protección de residentes. Sin estas condiciones, una intervención climática puede terminar profundizando la injusticia que pretendía corregir (Anguelovski et al., 2022; Anguelovski, 2023).

La gobernanza es otra condición determinante. La infraestructura verde arquitectónica se ubica frecuentemente en la frontera entre propiedad privada, beneficio público y responsabilidad institucional. Un techo verde en una vivienda genera beneficios para sus habitantes, pero también puede contribuir a reducir temperatura barrial; una fachada vegetal mejora el edificio, pero afecta el paisaje urbano; un patio comunitario vegetado requiere reglas

de uso y mantenimiento. Por ello, los modelos de implementación deben definir quién financia, quién mantiene, quién decide las especies, quién monitorea resultados y quién recibe beneficios. La Organización Mundial de la Salud advierte que las intervenciones verdes requieren mejor monitoreo de impactos en salud y equidad, especialmente cuando se destinan a poblaciones de menor nivel socioeconómico (WHO Regional Office for Europe, 2017).

También existe una brecha de evidencia en torno a la escala arquitectónica en barrios vulnerables. Muchas investigaciones analizan parques urbanos, arbolado o cobertura verde mediante sensores remotos, mientras que menos estudios evalúan de forma integrada cubiertas, fachadas, patios, tipologías de vivienda y condiciones socioeconómicas. Esta separación limita la comprensión de cómo la infraestructura verde arquitectónica puede actuar en tejidos residenciales informales, densos o autoconstruidos. Norton et al. (2015) proponen priorizar infraestructura verde según el lugar y el propósito, lo que exige pasar de recomendaciones generales a criterios específicos de diseño: orientación solar, forma urbana, déficit de sombra, población expuesta, capacidad de mantenimiento y compatibilidad constructiva (Norton et al., 2015; Oke et al., 2017).

La brecha metodológica se acentúa porque los estudios no siempre miden los mismos indicadores. Algunos se enfocan en temperatura superficial, otros en temperatura del aire, otros en demanda energética, confort térmico peatonal, humedad relativa, mortalidad o percepción social. Esta heterogeneidad dificulta comparar resultados entre soluciones y contextos climáticos. En barrios vulnerables, además, se requieren métricas que combinen desempeño térmico y justicia espacial: reducción de grados de exposición, número de hogares beneficiados, continuidad de sombra, accesibilidad, costos de mantenimiento y efectos sobre población sensible. Sin estas métricas, la infraestructura verde puede evaluarse como éxito técnico aunque no reduzca de manera significativa la vulnerabilidad cotidiana (Bowler et al., 2010; Gunawardena et al., 2017; WHO Regional Office for Europe, 2017).

Otra limitación es la transferencia acrítica de modelos provenientes de ciudades del Norte Global. Li et al. (2024) mostraron que los espacios verdes proporcionan enfriamiento urbano de forma sustancial pero desigual a escala mundial, con diferencias importantes en la capacidad de enfriamiento asociadas a cantidad, calidad y distribución de áreas verdes. Esta evidencia advierte que las estrategias exitosas en ciudades con alta inversión pública, climas templados o edificios técnicamente regulados no pueden trasladarse sin adaptación a barrios vulnerables del Sur Global. En estos contextos, la infraestructura verde arquitectónica debe ser climáticamente pertinente, económicamente asequible, constructivamente segura y socialmente apropiable (Li et al., 2024).

También debe considerarse la tensión entre densificación y vegetación. Muchos barrios vulnerables enfrentan hacinamiento, subdivisión predial, ampliaciones sucesivas y ocupación de patios, lo que reduce superficies disponibles para vegetación. Sin embargo, esta restricción no anula la posibilidad de infraestructura verde; más bien exige soluciones de bajo consumo espacial, como jardines verticales comunitarios, cubiertas ligeras, corredores de sombra, fachadas con trepadoras, balcones vegetados y sistemas modulares. La clave consiste en evitar soluciones estandarizadas y diseñar ensamblajes verdes compatibles con estructuras existentes, prácticas domésticas y capacidades locales de cuidado (Manso & Castro-Gomes, 2015; Alexandri & Jones, 2008).

La participación comunitaria aparece como condición transversal. En barrios vulnerables, la infraestructura verde arquitectónica no puede imponerse únicamente como intervención técnica, porque su permanencia depende de uso, cuidado, legitimidad y apropiación social. Las especies seleccionadas, los sistemas de riego, la ubicación de sombras, el acceso a terrazas o patios y la distribución de responsabilidades deben dialogar con necesidades locales. En este sentido, la infraestructura verde es más efectiva cuando se diseña como infraestructura cotidiana: refresca, pero también produce espacios de encuentro, mejora

la percepción de seguridad, embellece el entorno y fortalece vínculos de corresponsabilidad. Esta dimensión coincide con la evidencia de la OMS sobre beneficios sociales y de salud derivados de intervenciones verdes bien gestionadas (WHO Regional Office for Europe, 2017).

Finalmente, la principal brecha identificada no consiste en demostrar que la vegetación enfría, pues esa relación está ampliamente respaldada, sino en determinar bajo qué condiciones enfría de manera justa, durable y verificable en barrios vulnerables. Se requieren investigaciones longitudinales, estudios comparativos entre tipologías arquitectónicas verdes, análisis de costo de ciclo de vida, mediciones en condiciones de ola de calor, evaluaciones posocupación y marcos de gobernanza que integren salud, equidad y mantenimiento. Por tanto, la infraestructura verde arquitectónica debe avanzar desde el catálogo de soluciones hacia una política de adaptación climática territorializada, capaz de reducir exposición térmica sin producir nuevas formas de exclusión urbana (IPCC, 2022; Anguelovski et al., 2022; Norton et al., 2015).

Discusión

Los resultados de esta revisión permiten afirmar que la infraestructura verde arquitectónica constituye una estrategia pertinente para mitigar las islas de calor en barrios vulnerables, pero su eficacia no puede reducirse a la mera incorporación de vegetación sobre edificios. Su valor radica en la capacidad de intervenir superficies urbanas térmicamente críticas —cubiertas, fachadas, patios, terrazas, medianeras y bordes edificados— que en tejidos densos suelen permanecer expuestas a radiación solar intensa y a materiales de elevada acumulación térmica. En este sentido, los hallazgos dialogan con la teoría clásica del balance energético urbano, según la cual la isla de calor se intensifica por la pérdida de evapotranspiración, el almacenamiento de calor en superficies construidas y la modificación de los intercambios radiativos dentro de la morfología urbana (Oke, 1982). Por tanto, la

infraestructura verde arquitectónica no debe asumirse como adición paisajística, sino como dispositivo de corrección microclimática en la interfaz entre edificio, calle y habitabilidad cotidiana.

La evidencia revisada muestra que cubiertas verdes, fachadas vegetales y sistemas de reverdecimiento de la envolvente producen beneficios térmicos mediante sombreado, evapotranspiración, aislamiento y reducción de temperaturas superficiales; sin embargo, dichos beneficios dependen de condiciones de diseño que suelen omitirse en lecturas simplificadas. Las cubiertas verdes, por ejemplo, no generan el mismo desempeño cuando varían el espesor del sustrato, la humedad disponible, la selección vegetal, la orientación y la carga estructural admisible; del mismo modo, los muros verdes poseen exigencias diferenciadas según sean fachadas con trepadoras, sistemas modulares, paneles vivos o soluciones hidropónicas (Santamouris, 2014; Manso & Castro-Gomes, 2015). Esta heterogeneidad confirma que el enfriamiento no es una propiedad automática de la vegetación, sino el resultado de una articulación técnica entre clima, materialidad, agua, mantenimiento y forma urbana.

Asimismo, la discusión debe desplazar el análisis desde el edificio aislado hacia la escala barrial, porque el calor urbano se produce por acumulación de superficies, flujos y desigualdades espaciales. Las intervenciones arquitectónicas verdes pueden mejorar el confort interior de viviendas expuestas, pero su impacto urbano se amplifica cuando se conectan con arbolado, corredores verdes, suelos permeables y espacios de permanencia sombreados. Esta interpretación coincide con revisiones que señalan que el reverdecimiento urbano puede reducir temperaturas, aunque la magnitud del efecto varía por extensión, estructura y distribución de la vegetación (Bowler et al., 2010; Gunawardena et al., 2017). En consecuencia, la infraestructura verde arquitectónica debe concebirse como una red multiescalar de enfriamiento, y no como una suma fragmentaria de techos o fachadas verdes sin continuidad territorial.

Un aspecto sustantivo de la revisión es que los beneficios térmicos tienen implicaciones sanitarias y sociales, especialmente en barrios donde la vulnerabilidad climática coincide con precariedad constructiva, limitada climatización mecánica y menor acceso a espacios verdes. El calor extremo incrementa riesgos para la salud, y la infraestructura verde urbana ha sido asociada con reducciones potenciales de mortalidad y morbilidad relacionadas con altas temperaturas (Iungman et al., 2023; Nazish et al., 2024). Desde esta perspectiva, el aporte de cubiertas, fachadas y patios vegetados no se restringe al confort ambiental, sino que puede integrarse a políticas preventivas de salud urbana. No obstante, esta potencialidad exige priorizar población expuesta, no solamente edificios emblemáticos o zonas con mayor capacidad de inversión.

La revisión también confirma que las islas de calor no son un fenómeno exclusivamente físico, sino una expresión espacial de desigualdades urbanas acumuladas. Estudios sobre exposición térmica han mostrado que poblaciones racializadas y hogares de menores ingresos enfrentan cargas desproporcionadas de calor urbano, mientras que la segregación residencial histórica se relaciona con menores coberturas de arbolado en vecindarios desfavorecidos (Hsu et al., 2021; Locke et al., 2021). Esta evidencia obliga a discutir la infraestructura verde arquitectónica desde la justicia ambiental: su implementación sería insuficiente si reproduce la lógica de inversión que privilegia centralidades, distritos valorizados o proyectos de renovación inmobiliaria. Por el contrario, su pertinencia científica y política depende de que se oriente hacia barrios térmicamente deficitarios y socialmente expuestos.

Sin embargo, los resultados advierten que la infraestructura verde puede producir efectos contradictorios si se instala sin gobernanza social ni salvaguardas territoriales. La literatura sobre gentrificación verde ha demostrado que algunas intervenciones ambientales se asocian con valorización inmobiliaria, sustitución social y desplazamiento indirecto de residentes, sobre todo cuando se insertan en programas de renovación urbana orientados al

mercado (Anguelovski et al., 2022). Por ello, la mitigación térmica en barrios vulnerables requiere políticas complementarias de vivienda asequible, mantenimiento público, participación vinculante, protección de residentes y financiamiento redistributivo. En ausencia de estas condiciones, una solución climática puede convertirse paradójicamente en un mecanismo de exclusión socioespacial.

Las limitaciones técnicas identificadas refuerzan la necesidad de evitar enfoques prescriptivos. En barrios con viviendas autoconstruidas o con ampliaciones progresivas, la capacidad portante de cubiertas, la impermeabilización, el drenaje, la disponibilidad hídrica y la seguridad de mantenimiento son condiciones decisivas. Además, los sistemas vivos exigen continuidad de cuidado: riego, poda, reposición vegetal, limpieza de drenajes y control fitosanitario. Esto coincide con la recomendación de priorizar infraestructura verde según lugar, propósito, exposición térmica y factibilidad operativa, en lugar de aplicar soluciones homogéneas sin diagnóstico contextual (Norton et al., 2015). Así, la discusión revela que la pregunta central no es solo qué sistema enfría más, sino qué sistema puede permanecer funcional, asequible y seguro en contextos de vulnerabilidad urbana.

En términos metodológicos, la revisión evidencia una brecha persistente: gran parte de la literatura mide parques, cobertura arbórea o temperatura superficial mediante sensores remotos, mientras que existe menor integración entre desempeño arquitectónico, confort peatonal, salud, costos de mantenimiento y equidad socioespacial. Esta fragmentación dificulta comparar cubiertas verdes, fachadas vegetales, patios bioclimáticos y corredores verdes bajo criterios comunes. Además, estudios globales recientes muestran que el enfriamiento provisto por espacios verdes es sustancial, pero desigualmente distribuido entre ciudades y regiones, lo cual refuerza la necesidad de incorporar métricas de justicia térmica y no solo indicadores ambientales agregados (Li et al., 2024). Por consiguiente, futuras investigaciones deberían

combinar mediciones microclimáticas, evaluación posocupacional, análisis económico de ciclo de vida y participación comunitaria.

Finalmente, la discusión permite sostener que la infraestructura verde arquitectónica posee un potencial relevante para mitigar islas de calor en barrios vulnerables, siempre que se la conciba como política de adaptación climática territorializada y no como catálogo de soluciones verdes descontextualizadas. Su contribución más original consiste en articular desempeño térmico, habitabilidad, salud pública y justicia ambiental en superficies edificadas que suelen quedar fuera de las estrategias convencionales de reverdecimiento urbano. De este modo, el artículo aporta una lectura crítica: la vegetación arquitectónica puede enfriar, pero su verdadero valor científico y social dependerá de que enfríe allí donde el calor produce mayor daño, de manera técnicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente no excluyente (WHO Regional Office for Europe, 2017; Anguelovski et al., 2022; Li et al., 2024).

Conclusión

La infraestructura verde arquitectónica se consolida como una estrategia pertinente para mitigar las islas de calor en barrios vulnerables, siempre que sea concebida como una intervención climática, social y territorial, y no como un recurso ornamental aislado. Las cubiertas verdes, fachadas vegetales, patios bioclimáticos, corredores verdes y sistemas de arbolado asociados a las edificaciones permiten intervenir superficies urbanas altamente expuestas a la radiación solar, reduciendo la acumulación térmica y favoreciendo condiciones de habitabilidad más saludables. En este sentido, su principal aporte consiste en trasladar la adaptación climática hacia la escala cotidiana del barrio y de la vivienda, donde el calor afecta con mayor intensidad a poblaciones con menores recursos de protección.

Los hallazgos permiten concluir que los efectos térmicos y ambientales de estas soluciones dependen de su diseño, continuidad espacial, disponibilidad hídrica, selección

vegetal, mantenimiento y adecuación al contexto urbano. Por ello, no basta con incorporar vegetación de manera fragmentada; es necesario articular las soluciones verdes con la morfología del barrio, la orientación solar, las características constructivas de las viviendas y las necesidades de los habitantes. Cuando se aplican de forma integrada, estas estrategias pueden reducir temperaturas superficiales, mejorar el confort térmico interior y exterior, disminuir la demanda energética de refrigeración, favorecer la retención de agua pluvial y contribuir a la recuperación ambiental de tejidos urbanos degradados.

También se concluye que la mitigación térmica en barrios vulnerables exige una perspectiva de justicia ambiental. Las zonas con menor cobertura vegetal, mayor precariedad constructiva y menor acceso a infraestructura urbana suelen ser las más expuestas al calor, por lo que la infraestructura verde arquitectónica debe priorizarse en función de la vulnerabilidad y no únicamente de la rentabilidad urbana o la visibilidad paisajística. De este modo, su implementación puede contribuir a reducir desigualdades climáticas acumuladas, siempre que se acompañe de mecanismos de financiamiento público, participación comunitaria, protección de residentes y mantenimiento sostenido.

No obstante, la revisión evidencia que existen limitaciones relevantes para su aplicación. Entre ellas destacan los costos iniciales, la capacidad estructural de las edificaciones, el acceso al agua, la falta de asistencia técnica, la ausencia de políticas de mantenimiento y el riesgo de que las mejoras ambientales impulsen procesos de valorización urbana excluyente. Por tanto, la infraestructura verde arquitectónica debe integrarse a programas de mejoramiento barrial, vivienda digna, salud urbana y adaptación climática, evitando que sus beneficios se concentren en sectores con mayor capacidad económica.

Finalmente, el artículo permite afirmar que la principal brecha no consiste en demostrar si la vegetación contribuye al enfriamiento urbano, sino en determinar bajo qué condiciones puede hacerlo de manera equitativa, durable y verificable en barrios vulnerables. Futuras

investigaciones deberán profundizar en evaluaciones comparativas entre cubiertas verdes, fachadas vegetales y soluciones híbridas; mediciones microclimáticas en condiciones reales de uso; análisis de costo de ciclo de vida; percepción comunitaria; y modelos de gobernanza que garanticen permanencia. En consecuencia, la infraestructura verde arquitectónica representa una vía prometedora para enfrentar las islas de calor, siempre que su diseño responda simultáneamente a criterios térmicos, ambientales, sociales y éticos.

Referencias bibliográficas

- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- Anguelovski, I. (2023). (In)Justice in urban greening and green gentrification. En S. Bouzarovski, H. Haarstad, J. W. Knieling, & M. Krzywoszynska (Eds.), *The Routledge handbook of urban environmental politics* (pp. 235–246). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003183273>
- Anguelovski, I., Connolly, J. J. T., Brand, A. L., Cole, H., Garcia-Lamarca, M., Triguero-Mas, M., Baró, F., Martin, N., Conesa, D., Shokry, G., Pérez del Pulgar, C., Matheney, A., Gallez, E., Oscilowicz, E., López Máñez, J., Sarzo, B., Beltrán, M. A., & Martínez Minaya, J. (2022). Green gentrification in European and North American cities. *Nature Communications*, 13, 3816. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31572-1>
- Barriuso, F., & Urbano, B. (2021). Green roofs and walls design intended to mitigate climate change in urban areas across all continents. *Sustainability*, 13(4), 2245. <https://doi.org/10.3390/su13042245>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584–585, 1040–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Hsu, A., Sheriff, G., Chakraborty, T., & Manya, D. (2021). Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. *Nature Communications*, 12, 2721. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22799-5>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, settlements and key infrastructure*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-6/>
- Iungman, T., Cirach, M., Marando, F., Barboza, E. P., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M., &

- Nieuwenhuijsen, M. (2023). Cooling cities through urban green infrastructure: A health impact assessment of European cities. *The Lancet*, 401(10376), 577–589. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5)
- Li, Y., Svenning, J.-C., Zhou, W., Zhu, K., Abrams, J. F., Lenton, T. M., Teng, S. N., Dunn, R. R., & Xu, C. (2024). Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally. *Nature Communications*, 15, 7108. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51355-0>
- Locke, D. H., Hall, B., Grove, J. M., Pickett, S. T. A., Ogden, L. A., Aoki, C., Boone, C. G., & O’Neil-Dunne, J. P. M. (2021). Residential housing segregation and urban tree canopy in 37 US cities. *npj Urban Sustainability*, 1, 15. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00022-0>
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Nazish, A., Abbas, K., & Sattar, E. (2024). Health impact of urban green spaces: A systematic review of heat-related morbidity and mortality. *BMJ Open*, 14(9), e081632. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081632>
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Quintero-Angulo, B. M., Govea-Mina, L. D., & Quintero-Angulo, K. D. (2026). Desafíos de la reparación integral a comunidades afectadas por proyectos extractivos en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 267-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/164>
- Rivadeneira-Moreira, J. C. (2024). Implementación de gemelos digitales probabilísticos en el monitoreo de infraestructuras geotécnicas. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 27-40. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/29>
- Salvatierra-Moreira, C. O., Vinueza-Mendoza, G. W., Soria-Quisigüiña, S., & Carrillo-Morales, C. A. (2026). Sistemas de drenaje urbano sostenible para mitigación de inundaciones. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 575-587. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/172>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- WHO Regional Office for Europe. (2017). *Urban green space interventions and health: A review of impacts and effectiveness*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/366036>