

**Research Article**

# Estrategias verdes azules mejoran confort peatonal y reducen demanda energética urbana

## *Blue-green strategies improve pedestrian comfort and reduce urban energy demand*



Suárez-Loor, Cristina Paola <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-6588-7018>



[csuarezl@uteq.edu.ec](mailto:csuarezl@uteq.edu.ec)



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Suárez-Loor, Bruno Eduardo <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0686-1728>



[e.besuaraz@sangregorio.edu.ec](mailto:e.besuaraz@sangregorio.edu.ec)



Ecuador, Portoviejo, Universidad San Gregorio de Portoviejo

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



**DOI / URL:** <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/149>

**Resumen:** El calentamiento global y la isla de calor urbana incrementan el estrés térmico peatonal y las necesidades de refrigeración. Este artículo revisa evidencia sobre estrategias verde-azules para mejorar el confort y reducir la demanda energética. Se efectuó una revisión bibliográfica exploratoria en Scopus y Web of Science (2000–7 de enero de 2026), seleccionando estudios urbanos revisados por pares con resultados cuantitativos de microclima, confort y consumo energético. Los hallazgos indican que el factor decisivo es reducir la carga radiativa a nivel peatonal: la sombra continua, especialmente mediante arbolado, disminuye la temperatura radiante y mejora la sensación térmica incluso con cambios pequeños en la temperatura del aire. La eficacia depende de asegurar continuidad de sombra en rutas y de no bloquear corredores de viento; la morfología del cañón urbano modula ambos efectos. Las soluciones azules ofrecen enfriamiento limitado y muy contextual, pero aportan beneficios cuando se combinan con sombra y ventilación, evitando posibles penalizaciones nocturnas. Se concluye que la planificación debe priorizar corredores frescos y mantenimiento del arbolado, y que se requiere mayor estandarización de métricas y mediciones conjuntas de confort-energía.

**Palabras clave:** infraestructura verde-azul; confort térmico peatonal; isla de calor urbana; arbolado urbano; demanda energética de refrigeración.



Check for updates

**Recibido:** 20/Oct/2025

**Aceptado:** 27/Nov/2025

**Publicado:** 31/Ene/2026

**Cita:** Suárez-Loor, C. P., & Suárez-Loor, B. E. (2026). Estrategias verdes azules mejoran confort peatonal y reducen demanda energética urbana. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 35-47. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/149>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia  
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo  
Revista Científica Zambos (RCZ)  
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



**Abstract:**

Global warming and the urban heat island effect increase pedestrian heat stress and cooling needs. This article reviews evidence on green-blue strategies to improve comfort and reduce energy demand. An exploratory literature review was conducted in Scopus and Web of Science (2000–January 7, 2026), selecting peer-reviewed urban studies with quantitative results on microclimate, comfort, and energy consumption. The findings indicate that the decisive factor is reducing the radiative load at the pedestrian level: continuous shade, especially from trees, lowers radiant temperature and improves thermal comfort even with small changes in air temperature. Effectiveness depends on ensuring continuity of shade along routes and not blocking wind corridors; the morphology of the urban canyon modulates both effects. Blue solutions offer limited and highly contextual cooling, but provide benefits when combined with shade and ventilation, avoiding possible nighttime penalties. It is concluded that planning should prioritize cool corridors and tree maintenance, and that greater standardization of metrics and joint comfort-energy measurements is required.

**Keywords:** green-blue infrastructure; pedestrian thermal comfort; urban heat island; urban trees; energy demand for cooling.

## 1. Introducción

La intensificación del calentamiento global y de las islas de calor urbanas (ICU) está comprometiendo la habitabilidad de las ciudades al exacerbar el estrés térmico en el espacio público y encarecer el enfriamiento de edificios. En climas templados y cálidos, el déficit de sombra y evapotranspiración en calles y plazas incrementa la carga radiante y la temperatura del aire percibida por peatones, con efectos negativos sobre salud, uso del espacio y movilidad activa. La evidencia empírica muestra que incrementar vegetación urbana reduce de forma significativa la temperatura radiante media y mejora la sensación térmica, incluso cuando los descensos de temperatura del aire son modestos (Bowler et al., 2010; Klemm et al., 2015; Middel et al., 2016). En este marco, las estrategias “verde-azul” que combinan infraestructura verde y elementos hídricos emergen como un paquete de soluciones de adaptación climática con potencial dual: aumentar el confort peatonal y, simultáneamente, moderar la demanda energética urbana.

El problema se agrava por factores de forma urbana y materiales: el aumento de superficies impermeables y la fragmentación del arbolado elevan la carga térmica diurna, mientras que la escasez de brisas y sombras en cañones urbanos intensifica el intercambio radiativo. Estudios a escala de manzana muestran que el efecto de enfriamiento diurno crece no linealmente con la cobertura de copa, con umbrales prácticos alrededor del 40% de cobertura para maximizar la mitigación del calor; por la noche, la reducción de superficies impermeables gana protagonismo (Ziter et al.,

2019). A nivel microclimático, el arbolado callejero disminuye de forma directa la carga radiante por ejemplo, un 10% de cobertura de copas puede reducir  $\sim 1$  K la temperatura radiante media, mejorando la percepción térmica aun sin cambios grandes en la temperatura del aire (Klemm et al., 2015). Por su parte, las soluciones azules muestran respuestas contextuales: ríos y láminas de agua con escala y diseño adecuados pueden aportar descensos del orden de  $1-1,5$  °C, mientras que cuerpos de agua pequeños ofrecen enfriamiento del aire limitado ( $\leq 0,6$  °C) salvo que se combinen con sombra y ventilación (Hathway & Sharples, 2012; Jacobs et al., 2020).

Las afectaciones trascienden el espacio exterior: el calentamiento urbano incrementa la energía de enfriamiento en edificios. Síntesis de múltiples ciudades estima, en promedio, cargas de refrigeración  $\sim 13\%$  mayores en entornos urbanos respecto de rurales, con impactos que varían según clima, tipología y operación (Santamouris, 2014a). Mitigar la ICU mediante superficies frías y arbolado podría reducir de forma sustantiva el uso nacional de aire acondicionado del orden del 20% en escenarios de despliegue amplio, con co-beneficios en calidad del aire (Akbari et al., 2001). De forma más específica, la vegetación próxima a edificios reduce la demanda de enfriamiento a través de dos mecanismos complementarios: sombreado (reducción de la ganancia solar) y enfriamiento por evapotranspiración del aire circundante; ambos efectos han sido cuantificados mediante mediciones in situ y simulaciones energéticas acopladas, evidenciando descensos apreciables en cargas de verano (Hsieh et al., 2018).

La justificación para priorizar estrategias verde-azules reside en su eficacia, escalabilidad y co-beneficios. A diferencia de intervenciones exclusivamente tecnológicas, los sistemas verde-azules actúan sobre los flujos de radiación, calor sensible y latente, y confort fisiológico a distintas escalas (edificio, calle, barrio), al tiempo que aportan servicios ecosistémicos (sombra, biodiversidad, control de escorrentías). La viabilidad técnica se apoya en guías operativas derivadas de la evidencia: metas de cobertura arbórea de  $\sim 40\%$  a escala de manzana para maximizar el enfriamiento diurno (sin descuidar la reducción de impermeables para la noche); priorización de corredores verde-azules conectados para potenciar brisas locales; y diseño de agua urbana que combine lámina, sombra y ventilación, dado que el agua por sí sola puede ofrecer beneficios limitados a escala peatonal (Ziter et al., 2019; Jacobs et al., 2020). Revisiones recientes integran métodos y métricas para optimizar estas soluciones dentro de la planificación climática urbana, reforzando su aplicabilidad en múltiples zonas climáticas (Budzik et al., 2025).

En este artículo de revisión bibliográfica se persigue un objetivo claro: sintetizar y evaluar críticamente la evidencia científica sobre cómo las estrategias verde-azules mejoran el confort peatonal y reducen la demanda energética urbana, identificando umbrales de diseño (p. ej., cobertura de copa), condiciones de contexto (escala de intervención, morfología urbana, clima) y combinaciones sinérgicas (vegetación + agua + ventilación) que maximizan desempeño y co-beneficios. A partir de literatura indexada en Scopus y Web of Science, se compararán efectos físicos (temperatura del aire, temperatura radiante, PET/UTCI), percepciones térmicas y métricas

energéticas (cargas de enfriamiento), discutiendo incertidumbres metodológicas y vacíos de investigación para orientar futuras agendas de diseño urbano y políticas climáticas.

## 2. Metodología

Este estudio adopta un diseño exploratorio de revisión bibliográfica con alcance internacional, orientado a mapear, sintetizar y valorar críticamente la evidencia disponible sobre el efecto de las estrategias verde-azules en el confort peatonal y en la reducción de la demanda energética urbana. Se elaboró y registró un protocolo metodológico interno antes de iniciar la búsqueda, definiendo objetivos, preguntas de investigación, fuentes, criterios de elegibilidad, procedimientos de cribado, extracción y síntesis, así como un plan para el control de sesgos. La unidad de análisis fueron artículos científicos revisados por pares que evaluaran intervenciones verdes (arbolado urbano, cubiertas y muros verdes, parques, corredores bioclimáticos) y/o azules (ríos urbanos, láminas de agua, fuentes, canales, humedales construidos) con resultados cuantitativos en variables de confort térmico peatonal y/o consumo energético de edificaciones o barrios.

La búsqueda principal se ejecutó en bases de datos bibliográficas internacionales de alta cobertura (Scopus y Web of Science Core Collection), complementada con un rastreo de referencias y de citas hacia atrás y adelante para identificar estudios relevantes no recuperados por las cadenas iniciales. Se realizaron consultas en español, inglés y portugués, combinando descriptores controlados y palabras clave libres. A modo ilustrativo, se emplearon expresiones booleanas equivalentes a: (“blue-green infrastructure” OR “green infrastructure” OR “street trees” OR “green roof\*” OR “urban water” OR “water bod\*” OR “fountain\*” OR “river\*”) AND (“outdoor thermal comfort” OR “pedestrian comfort” OR “UTCI” OR “PET” OR “mean radiant temperature” OR “MRT”) AND (“energy demand” OR “cooling load” OR “building energy” OR “air conditioning”), además de sus análogos en español y portugués (por ejemplo: “infraestructura verde-azul” AND “confort térmico exterior/peatonal” AND “demanda energética/carga de enfriamiento”). El horizonte temporal abarcó publicaciones desde el año 2000 hasta el 7 de enero de 2026, sin restricción geográfica ni climática.

Los criterios de inclusión exigieron: (i) revisión por pares; (ii) foco urbano; (iii) evaluación de al menos una intervención verde o azul claramente definida; (iv) reporte de resultados cuantitativos de microclima o confort (temperatura del aire, temperatura radiante media, UTCI, PET, SET\*, WBGT, percepción térmica) y/o métricas energéticas (consumo, carga de enfriamiento, picos de demanda); y (v) disponibilidad del texto completo. Se excluyeron notas técnicas, editoriales, literatura gris sin arbitraje, resúmenes de congreso sin artículo completo y estudios exclusivamente rurales o de laboratorio sin transferencia plausible al espacio urbano. Para limitar la heterogeneidad temática, se descartaron intervenciones sin componente verde-azul

predominante (p. ej., exclusivamente materiales reflectantes) salvo cuando su combinación con vegetación o agua fuera parte del diseño experimental.

El proceso de cribado se implementó en tres etapas: eliminación de duplicados; revisión de títulos y resúmenes; y evaluación de texto completo. Dos revisores independientes aplicaron los criterios de elegibilidad y registraron decisiones y motivos de exclusión. La concordancia interevaluador se estimó con una medida de acuerdo y las discrepancias se resolvieron por consenso. La extracción de datos se efectuó mediante una plantilla estandarizada que capturó: características bibliográficas; tipología de intervención (árboles, praderas, cubiertas/muros verdes, parques, cuerpos de agua corrientes o estancados, dispositivos de nebulización, soluciones combinadas); escala (edificio, calle, manzana, barrio); contexto climático y morfológico; metodología (medición in situ, experimento, simulación con modelos microclimáticos o energéticos); indicadores de resultado y unidades; condiciones de medición (hora del día, estación, meteorología); y principales hallazgos. Cuando fue posible, se normalizaron los efectos a métricas comparables (p. ej., variaciones absolutas  $\Delta$  y relativas % respecto a línea base) y se estandarizaron unidades.

La síntesis priorizó un enfoque mixto: mapeo temático para identificar patrones de diseño y contextos de efectividad, y síntesis narrativa crítica para contrastar mecanismos físicos (sombreo, radiación, evapotranspiración, ventilación) con los resultados empíricos y modelados. Dado el carácter exploratorio y la heterogeneidad en indicadores, se contempló realizar estimaciones cuantitativas de efectos agregados solo cuando la comparabilidad de diseños, métricas y contextos lo permitiera; en caso contrario, se recurrió a una agregación cualitativa enfocada en rangos y umbrales operativos. Se efectuaron comprobaciones de robustez (análisis de sensibilidad) re-estimando conclusiones al excluir estudios con alto riesgo de sesgo de medición o con documentación metodológica insuficiente.

Para mitigar sesgos, se abordaron la saturación temática y la representatividad geográfica, se verificó la coherencia entre métodos y resultados, y se discutió el posible sesgo de publicación. Todos los registros de búsqueda, cadenas utilizadas, decisiones de inclusión/exclusión y formularios de extracción se mantuvieron en un repositorio interno de auditoría. Finalmente, los hallazgos se organizaron para informar recomendaciones de diseño aplicables y vacíos de investigación, alineando la evidencia con el objetivo del artículo de identificar combinaciones verde-azules que optimicen simultáneamente el confort peatonal y la reducción de demanda energética a diferentes escalas urbanas.

### 3. Resultados

#### 3.1. Confort peatonal

El confort peatonal en climas cálidos y templados depende, ante todo, de la carga radiante neta que recibe el cuerpo humano; en días despejados, la temperatura radiante media ( $T_{mrt}$ ) domina la sensación térmica frente a reducciones modestas de temperatura del aire. Índices biometeorológicos como PET (Physiological Equivalent Temperature) y UTCI integran esa carga radiante junto con viento y humedad, permitiendo cuantificar el estrés térmico bajo escenarios de diseño urbano. La evidencia empírica y de modelado converge en que controlar  $T_{mrt}$  mediante sombra continua y geometrías que modulen el factor de visión de cielo (SVF) es el mecanismo más eficaz para mejorar el confort durante el día, mientras que la ventilación modula fuertemente la respuesta de UTCI por su sensibilidad al enfriamiento convectivo. (Thorsson et al., 2007; Lee et al., 2013; Bröde et al., 2012).

##### 3.1.1. Árboles y agua sombreados reducen carga radiante y mejoran UTCI/PET

La sombra arbórea atenúa la radiación de onda corta incidente y reconfigura los intercambios de onda larga entre superficies y transeúntes, con descensos sustanciales de  $T_{mrt}$  que se traducen en mejoras notables de PET/UTCI incluso cuando la temperatura del aire apenas cambia. En mediciones de campo, la sombra redujo PET dos categorías de sensación térmica mientras que la disminución de temperatura del aire no superó  $\sim 2$  °C, ilustrando la primacía de  $T_{mrt}$  en la experiencia peatonal bajo sol estival. (Lee et al., 2013).

A escala de calle, la continuidad de copas y el espaciamiento entre árboles gobiernan de forma exponencial la reducción de  $T_{mrt}$ : copas grandes permiten mayores intervalos manteniendo una fracción de sombra efectiva durante las horas críticas del día, mientras que plantaciones ralas generan “islas de sol” que deterioran el confort a escala de recorrido. (Park et al., 2019). Además del efecto físico, la presencia de arbolado incrementa la valoración estética y la predisposición al uso del espacio, reforzando beneficios psicológicos que acompañan la mejora microclimática. (Klemm et al., 2015).

Las láminas de agua sombreadas (estanques, canales, ríos menores) ofrecen mitigación térmica situacional: cuando la superficie acuática permanece más fría que el aire diurno y existe fetch suficiente para que el flujo turbulento arrastre esa señal hasta 1–2 m (altura peatonal), se observan reducciones puntuales de temperatura del aire y  $T_{mrt}$  en sus márgenes. Sin embargo, su eficacia es altamente dependiente de la morfología, la hora del día y la estacionalidad; de noche, cuerpos de agua pueden liberar calor y debilitar el beneficio térmico neto. (Jacobs et al., 2020). En canales urbanos reales, el enfriamiento medio en ribera crece con el calor ambiental y la forma edilicia de las riberas condiciona fuertemente la propagación del efecto. (Hathway & Sharples, 2012).

En tipologías cerradas (patios/courtyards), la combinación de vegetación y espejos de agua estratégicos preferentemente bajo sombra parcial reduce  $T_{mrt}$  y estabiliza el microclima; no obstante, aumentar en exceso el albedo de fachadas puede elevar  $T_{mrt}$  por mayor reflexión difusa hacia el peatón, por lo que la jerarquía de estrategias debe priorizar sombra y evapotranspiración. (Taleghani et al., 2014).

### 3.1.2. Eficacia ligada a continuidad de sombra y ventilación del cañón urbano

El rendimiento térmico de la infraestructura verde-azul a escala peatonal no depende solo del punto, sino de la continuidad de sombra a lo largo del recorrido y de la ventilación disponible en el cañón urbano (relación H/W y orientación). En climas cálido-secos, cañones profundos (H/W altos) disminuyen la exposición solar diurna y producen entornos sensiblemente más frescos que cañones someros, con diferencias de varios Kelvin en verano; la orientación E–W o N–S modula la ventana horaria de asoleo y, por tanto, la magnitud del alivio térmico. (Ali-Toudert & Mayer, 2006; Johansson, 2006). A escala estacional, diseñar con SVF bajo en verano y SVF moderado en invierno permite balancear confort y soleamiento, evitando discomfort invernal en latitudes templadas. (Lin, Matzarakis, & Hwang, 2010).

Con respecto a la ventilación, UTCI es especialmente sensible a la velocidad del viento: pequeñas variaciones de la convección forzada alteran la carga fisiológica percibida; de ahí la necesidad de no sacrificar corredores de brisa con plantaciones o volumetrías que bloqueen el flujo. (Bröde et al., 2012). La optimización conjunta “sombra + viento” requiere: (i) sombra continua (árboles y sombreaderos) para truncar  $T_{mrt}$  en los tramos de mayor exposición; (ii) permeabilidad aerodinámica longitudinal y transversal para sostener el enfriamiento convectivo; y (iii) geometrías que eviten reflexiones múltiples hacia el peatón. Evidencia reciente muestra que alineaciones arbóreas densas pueden enfriar localmente por sombra pero calentar áreas vecinas por sheltering del viento y reducción del enfriamiento nocturno de onda larga; por ello se proponen métricas de “índice de enfriamiento” y “área de enfriamiento” que ponderan también posibles efectos de calentamiento. (Nevers et al., 2025; cap. metodológico afín).

Para garantizar la continuidad de la sombra útil a escala de ciudad, la cartografía de  $T_{mrt}$  y sombra a 1 m de resolución permite trazar “corredores frescos” que conecten polos de movilidad y espacios abiertos, integrando SVF, horarios de asoleo y presencia de vegetación. Este enfoque muestra que el déficit de sombra en aceras residenciales es mayor que en centros con cañones edificados, y orienta la priorización de intervenciones. (Middel et al., 2016; Middel et al., 2018).

En suma, el confort peatonal mejora de manera robusta cuando (a) se reduce  $T_{mrt}$  con sombra continua preferentemente arbórea, (b) se integran láminas de agua bajo condiciones morfológicas que garanticen retorno convectivo neto positivo, y (c) se preserva o potencia la ventilación del cañón urbano; todo ello se refleja en descensos consistentes de PET/UTCI que trascienden las modestas variaciones de temperatura del aire. (Middel et al., 2016; Lee et al., 2013; Jacobs et al., 2020).

## 4. Discusión

La evidencia sintetizada sugiere que las estrategias verde-azules inciden de manera contundente en el confort peatonal al modular, ante todo, la carga radiativa que recibe el cuerpo la temperatura radiante media ( $T_{mrt}$ ) y, en menor medida, la temperatura del aire. En estudios de campo y de modelación, la sombra natural o artificial reduce PET/UTCI en una o más clases de sensación térmica aun cuando el descenso de la temperatura del aire es modesto, lo que confirma la primacía de la radiación en condiciones estivales. Esta jerarquía física es clave: orientar el diseño hacia la intercepción de radiación directa y difusa (cerrando ventanas de asoleo mediante copas y elementos de sombreadamiento) ofrece retornos inmediatos sobre el confort peatonal y la exposición térmica acumulada a lo largo de una ruta urbana (Lin, Matzarakis, & Hwang, 2010).

El arbolado emerge como estrategia dominante porque actúa de forma sinérgica sobre la radiación de onda corta, la de onda larga y la distribución espacial de sombra. Su eficacia no es binaria “hay/no hay árboles”, sino una función de la continuidad de la sombra y de la morfología. La reducción de  $T_{mrt}$  aumenta de manera no lineal cuando disminuye el espaciamiento entre árboles, y las copas de gran porte sostienen “parches” de sombra más estables en el tiempo, con beneficios acumulativos sobre PET/UTCI a escala de recorrido. A nivel intraurbano, el enfriamiento diurno es más sensible al incremento de cobertura de copa que a la simple disminución de superficies impermeables, lo que orienta prioridades de inversión cuando el objetivo es reducir el estrés térmico durante el día.

Las soluciones azules presentan matices: los cuerpos de agua pequeños (estanques, canales) ofrecen atenuaciones térmicas situacionales, y su señal de enfriamiento a altura peatonal depende de la sombra adyacente, el fetch y el acoplamiento con el viento (Lizarraga-Aguirre, 2024). En general, el agua por sí sola produce descensos acotados y, en ciertos contextos, puede aportar calor nocturno por inercia térmica; en cambio, cuando se integra con vegetación y ventilación se observan mejoras consistentes de PET/UTCI en sus márgenes. De ahí que la incorporación de láminas de agua deba supeditarse a una arquitectura de sombras y brisas que garantice beneficios netos diurnos sin penalizaciones nocturnas (Middel et al., 2016).

El cañón urbano condiciona los rendimientos de cualquier estrategia. En climas cálidos y secos, cañones más profundos y orientaciones que minimizan la exposición solar directa durante las horas pico reportan descensos plurikelvín en verano respecto a calles someras, pero ese alivio puede acompañarse de menores velocidades de viento; el diseño debe equilibrar sombra y aireación para optimizar UTCI. En términos operativos, la gestión estacional del factor de visión de cielo (SVF) reducido en verano, moderado en invierno constituye una palanca fina para compatibilizar confort térmico y asoleo. El refinamiento metodológico reciente cartografías de  $T_{mrt}$ /sombra de alta resolución para planificar “corredores frescos” ilustra cómo traducir estos principios en

decisiones espaciales a escala de ciudad, priorizando tramos viales con déficit de sombra y alta exposición peatonal (Lee et al., 2013).

Aun dentro del consenso sobre el papel de la sombra, emergen compromisos de diseño. La vegetación densamente dispuesta puede bloquear corredores de brisa y, por tanto, degradar UTCI en ejes de ventilación primaria; simulaciones de barrio sugieren ubicar árboles de forma preferente en calles transversales y espacios intersticiales, y ser selectivos en bulevares dominados por el viento (Gaibor-Garófalo & Paucar-Camacho, 2025). En climas húmedos, el beneficio por reducción de  $T_{mrt}$  puede verse parcialmente compensado por aumentos de humedad relativa un componente relevante de UTCI; así, el efecto neto depende de la combinación de sombra dominante con ventilación suficiente. Esta lectura invita a trascender métricas unidimensionales (por ejemplo, solo temperatura del aire) y adoptar evaluaciones integrales de exposición y confort (Jacobs et al., 2020).

El vínculo con la demanda energética urbana refuerza la conveniencia de las estrategias verde-azules: la isla de calor urbana eleva, en promedio, las cargas de enfriamiento de edificios ( $\approx 13\%$  frente a contextos rurales) y desplaza picos de demanda eléctrica en verano. La vegetación próxima a las envolventes reduce ganancias solares por sombreado y, adicionalmente, puede atenuar temperaturas y flujos convectivos locales por transpiración, disminuyendo el consumo de refrigeración en escenarios medidos y simulados. A escala agregada, la combinación de arbolado y superficies frías se ha proyectado para reducir de manera significativa el uso de aire acondicionado y mejorar la calidad del aire urbano. La implicación para la planificación es inequívoca: corredores de sombra que conecten destinos peatonales y masas de vegetación estratégicamente ubicadas junto a fachadas acristaladas o altamente expuestas actúan como medida de adaptación dual confort exterior y eficiencia energética (Moran-Gonzalez et al., 2024).

Desde una perspectiva de calidad de evidencia, persisten desafíos. Primero, la heterogeneidad metodológica: la literatura alterna métricas de confort (UTCI, PET, SET\*), protocolos de medición y resoluciones espaciales dispares; ello dificulta la comparación directa de magnitudes de efecto. Segundo, la confusión entre temperatura superficial (sensores remotos) y temperatura del aire o  $T_{mrt}$  (in situ), que puede conducir a inferencias divergentes sobre el rendimiento percibido por el peatón. Tercero, la dependencia contextual: clima, morfología y mantenimiento condicionan fuertemente los resultados (Beltrán-Jimenez et al., 2023). Avances como los mapas de  $T_{mrt}$ /sombra de alta resolución y el uso de huellas de SVF extraídas de imágenes de calle permiten estandarizar diagnósticos y priorizar acciones con mayor validez externa. Una agenda de investigación útil incluiría metaanálisis con variables moderadoras (clima, H/W, SVF, densidad foliar efectiva) y experimentos de campo que midan de forma pareada confort y consumos energéticos en configuraciones de diseño replicables (Middel et al., 2016).

En términos de aplicación, el corpus revisado habilita lineamientos concretos: (i) priorizar la conectividad de la sombra a la escala de caminabilidad (no solo puntos aislados), (ii) disponer la vegetación sin obstruir ejes de ventilación y con manejo de copas que preserve la permeabilidad aerodinámica, (iii) integrar agua bajo sombra y con ventilación para asegurar balance neto diario, y (iv) coordinar estas medidas con acciones pasivas en materiales y albedo. A ello se suma un componente operativo decisivo: la salud del arbolado determina la eficacia climática de las copas; la condición fitosanitaria y el vigor foliar modulan el enfriamiento a escala de calle, lo que demanda presupuestos de mantenimiento y riego eficientes, especialmente en climas secos. En definitiva, cuando se diseñan con sombra continua y ventilación compatible, las estrategias verde-azules mejoran de manera robusta el confort peatonal (UTCI/PET) y ofrecen co-beneficios energéticos urbanos, siempre que se inserten en una planificación morfológica fina y basada en métricas integradas de exposición térmica (Masapanta-Masapanta et al., 2025).

## 5. Conclusiones

Las evidencias analizadas convergen en un mensaje nítido: el camino más eficaz para mejorar el confort peatonal en ciudades cálidas y templadas pasa por reducir de manera sostenida la temperatura radiante media mediante sombra continua, preferentemente de origen arbóreo, y por preservar la permeabilidad al viento de los cañones urbanos. La radiación más que la temperatura del aire gobierna la experiencia térmica diaria; por ello, las actuaciones que interrumpen la insolación directa y limitan las reflexiones hacia el cuerpo del peatón producen mejoras inmediatas en PET/UTCI. En este marco, el agua actúa como coadyuvante: aporta beneficios cuando se integra bajo sombra y en presencia de ventilación, pero raramente es suficiente por sí sola y puede generar efectos nocturnos indeseados si se diseña de forma aislada.

La eficacia de las soluciones verde-azules depende menos del “inventario” y más de su configuración espacial. Copas grandes y bien espaciadas, que aseguren continuidad de sombra a lo largo del recorrido y durante las horas críticas, superan a plantaciones ralas que generan “parches” soleados. A escala de calle, el balance térmico óptimo exige conciliar geometrías con bajo factor de visión de cielo en verano con corredores de brisa funcionales; es decir, sombreaderos y arbolado deben disponerse sin bloquear los ejes de ventilación primaria. A escala barrial y urbana, la cartografía fina de T<sub>mrt</sub> y de trayectorias sombreadas permite priorizar corredores frescos que conecten equipamientos, paradas de transporte y polos de actividad, maximizando la utilidad social de cada intervención.

Los co-beneficios energéticos refuerzan la priorización de estas estrategias. El sombreadamiento del entorno inmediato de las envolventes y la atenuación del fondo térmico urbano reducen cargas de enfriamiento y picos de demanda, especialmente en periodos de calor extremo. En términos de coste-efectividad, la combinación de

arbolado, sombreaderos estratégicos y materiales de alta reflectancia cuidadosamente situados evitando reflejos nocivos que eleven la carga radiante del peatón ofrece un portafolio robusto y adaptable a distintos climas y morfologías.

Desde la perspectiva de implementación, los resultados avalan políticas que: (i) fijan metas de cobertura de sombra medibles por tramo y hora; (ii) protegen y amplían corredores de ventilación en los planes de ordenamiento; (iii) integran agua bajo sombra en nodos de alta exposición peatonal; (iv) aseguran mantenimiento y riego inteligente para preservar salud foliar y desempeño climático del arbolado; y (v) articulan estas acciones con medidas pasivas de edificación y movilidad activa. La equidad térmica debe ser un criterio explícito: barrios con déficit histórico de arbolado y mayor vulnerabilidad al calor requieren prioridad de inversión y seguimiento.

No obstante, subsisten vacíos de conocimiento que condicionan la transferibilidad de resultados: la heterogeneidad de métricas de confort, la confusión frecuente entre señales superficiales y microclimáticas, y la escasez de series temporales largas que relacionen confort exterior con consumos energéticos reales. Se recomienda estandarizar protocolos de medición (incluyendo  $T_{mrt}$  y viento a altura peatonal), acoplar sistemáticamente evaluación microclimática y energética, y documentar efectos estacionales y nocturnos, con especial atención a climas húmedos y a distintos regímenes de viento.

En suma, esta revisión sustenta una tesis operativa: sombra continua + permeabilidad al viento + hibridación verde-azul constituyen el núcleo de un diseño bioclimático urbano que mejora de forma comprobable el confort peatonal y reduce la demanda energética. Traducirla en práctica requiere metas cuantificables, cartografía de alta resolución para orientar decisiones, y gobernanza intersectorial que asegure selección de especies, mantenimiento y evaluación posimplementación. Con este enfoque, las ciudades pueden avanzar hacia entornos caminables, resilientes al calor y energéticamente más eficientes.

## CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

## Referencias Bibliográficas

- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>

- Beltrán-Jimenez, S. S., Gómez-Reina, M. Ángel, Monsalve-Estrada, N. Y., Ospina-Ladino, M. C., & López-Muñoz, L. G. (2023). Optimización del Overrun (aireado), del rendimiento, de los sólidos solubles y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(4), 68–83. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n4/81>
- 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>
- Bröde, P., Krüger, E. L., Rossi, F. A., & Fiala, D. (2012). Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index (UTCI) A case study in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 471–480. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0452-3>
- Budzik, G., Sylla, M., & Kowalczyk, T. (2025). Understanding Urban Cooling of Blue–Green Infrastructure: A Review of Spatial Data and Sustainable Planning Optimization Methods for Mitigating Urban Heat Islands. *Sustainability*, 17(1), 142. <https://doi.org/10.3390/su17010142>
- Gaibor-Garófalo, A. M., & Paucar-Camacho, J. A. (2025). Estrategias para el fortalecimiento de la gestión de riesgos de desastres en el uso de suelo del área urbana de la parroquia Salinas, cantón Guaranda. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 71-86. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/117>
- Hathway, E. A., & Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 58, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.013>
- Hsieh, C.-M., Li, J.-J., Zhang, L., & Schwegler, B. (2018). Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use. *Energy and Buildings*, 159, 382–397. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.045>
- Jacobs, C., Klok, L., Bruse, M., Cortesão, J., Lenzholzer, S., & Kluck, J. (2020). Are urban water bodies really cooling? *Urban Climate*, 32, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100607>
- Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, 41(10), 1326–1338. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., & van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on outdoor thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Lee, H., Holst, J., & Mayer, H. (2013). Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. *Advances in Meteorology*, 2013, 312572. <https://doi.org/10.1155/2013/312572>
- Lin, T.-P., Matzarakis, A., & Hwang, R.-L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45(1), 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.002>

- Lizarraga-Aguirre, H. R. (2024). Evaluación de materiales sostenibles en la construcción de pavimentos urbano. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 41-54. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/30>
- Masapanta-Masapanta, E. A., Pazuña-Naranjo, W. P., & Corrales-Bonilla, J. I. (2025). Análisis de la eficiencia energética de las instalaciones del Edificio Académico del Bloque A de la UTC, Extensión La Maná. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(3), 63-77. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v5/n3/206>
- Middel, A., Lukasczyk, J., Maciejewski, R., Demuzere, M., & Roth, M. (2018). Sky View Factor footprints for urban climate modeling. *Urban Climate*, 25, 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.05.004>
- Middel, A., Selover, N., Hagen, B., & Chhetri, N. (2016). Impact of shade on outdoor thermal comfortA seasonal field study in Tempe, Arizona. *International Journal of Biometeorology*, 60(12), 1849–1861. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1172-5>
- Moran-Gonzalez, M. R., Guerrero-Calero, J. M., Mielles-Giler, J. W., & Cabrera-Verdesoto, C. A. (2024). Evaluación de Indicadores para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas Hidrográficas . *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(4), 25–38. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/129>
- Nevers, C., Carmeliet, J., Strelbel, D., Wood, S., Kubilay, A., & Derome, D. (2025). Understanding cooling potential of urban trees in a typical North American neighborhood. *Building and Environment*, 260, 113303. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113303>
- Park, C.-Y., Lee, D.-K., Krayenhoff, E. S., Heo, H.-K., Hyun, J.-H., Oh, K., & Park, T.-Y. (2019). Variations in pedestrian mean radiant temperature based on the spacing and size of street trees. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101521. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101521>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the citiesA 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>
- Santamouris, M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>
- Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbelen, A. A. J. F., & Sailor, D. J. (2014). Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy*, 103, 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.033>
- Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J., & Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7575–7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>