

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Los Servicios Ecosistémicos para el Confort Térmico: un enfoque de Salud Ambiental

Ecosystem Services for Thermal Comfort: an Environmental Health Approach

Authors/Autores: Beltran-Diaz, M. A., Davydova Belitskaya, V., Figueroa Montaña, A.

ID: e2013

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2013>

Received/Fecha de recepción: June 30th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: December 11th 2025

Available online/Fecha de publicación: January 16th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Beltran-Diaz, M. A., Davydova-Belitskaya, V., Figueroa-Montaña, A. (2025). Ecosystem Services for Thermal Comfort: an Environmental Health Approach. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2013. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2013>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.




Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo de revisión / Review

Los Servicios Ecosistémicos para el Confort Térmico: un enfoque de Salud Ambiental

Ecosystem Services for Thermal Comfort: an Environmental Health Approach

Servicios Ecosistémicos y Confort Térmico

Beltran-Díaz, Mariana Alejandra¹ () , Davydova Belitskaya, Valentina¹ () , Figueroa Montaña, Arturo² ()

¹ Departamento. de Ciencias Ambientales, Centro Universitarios de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Las Agujas, Nextipac C.P. 44600, Zapopan, Jalisco, México.

² Departamento. de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara. Av. Revolución 1500. C.P.44430, Guadalajara, Jalisco, México.

Corresponding Author:

Valentina Davydova-Belitskaya. Departamento de Ciencias Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Las Agujas, Nextipac. C.P. 44600, Zapopan, Jalisco, México. Teléfono (331) 016 8069. E-mail: valentina.davydova@academicos.udg.mx

RESUMEN

La regulación climática proporcionada por los ecosistemas, particularmente a través de la vegetación, desempeña un papel fundamental en el mantenimiento del confort térmico. En los ecosistemas urbanos, los servicios ecosistémicos son críticos para moderar las fluctuaciones extremas de temperatura y humedad, factores determinantes del bienestar humano. A través del análisis de literatura científica, este estudio aborda cómo los servicios ecosistémicos, especialmente los proporcionados por la vegetación urbana, influyen en el confort térmico desde la perspectiva de la salud ambiental. La vegetación urbana es crucial para mantener condiciones térmicas favorables y contribuye a la mitigación del cambio climático. Los resultados subrayan la importancia de preservar y expandir los espacios verdes urbanos para regular el microclima y mejorar el confort térmico, reduciendo el estrés térmico en la población. La conservación de espacios verdes es una condición vital para la salud humana en entornos urbanos en constante cambio. El estudio proporciona evidencia robusta sobre la necesidad de políticas públicas que promuevan la expansión de la vegetación urbana para preservar las condiciones de confort térmico. Se recomienda que futuros estudios cuantifiquen los beneficios de la vegetación urbana en diversos contextos climáticos y urbanos.

PALABRAS CLAVE:

Regulación climática, vegetación urbana, Isla de Calor Urbana (ICU), estrés térmico, salud pública.

ABSTRACT

Climate regulation provided by ecosystems, particularly through vegetation, plays a fundamental role in maintaining thermal comfort. In urban ecosystem, ecosystem services, are critical for moderating extreme fluctuations in temperature and humidity, determinants of human well-being. Through a comprehensive analysis of the scientific literature, this study addresses how ecosystem services, especially those provided by urban vegetation, influence thermal comfort from an environmental health perspective. Urban vegetation is crucial for maintaining favorable thermal conditions and contributes to climate change mitigation. The results underscore the importance of preserving and expanding urban green spaces to regulate the microclimate and improve thermal comfort, reducing heat stress in the population. Preserving green spaces is vital for human health in constantly changing urban environments. The study provides robust evidence of the need for public policies that promote the expansion of urban vegetation to maintain thermal comfort conditions. Future studies are recommended to quantify the benefits of urban vegetation in various climatic and urban contexts.

KEY WORDS:

Climatic regulation, urban vegetation, Urban Heat Island, health (UHI), heat stress, public health.

Introducción

De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2021) los servicios ecosistémicos desempeñan un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio ambiental y el bienestar humano. Estos servicios son fundamentales para la supervivencia de los seres vivos y el funcionamiento del planeta y se agrupan en cuatro clases: soporte, provisión, regulación y culturales (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005). Los servicios de soporte, como los ciclos biogeoquímicos, son el sustento directo de la biodiversidad, mientras que los de provisión ofrecen recursos esenciales como agua y alimentos. Los servicios culturales enriquecen la experiencia humana a través del valor estético y recreativo de la naturaleza. Por su parte, los servicios de regulación son vitales para procesos como la purificación del aire y el mantenimiento del clima, destacando la evapotranspiración de los árboles como un mecanismo clave para la regulación de la temperatura ambiental (Falcón, 2007).

La interacción de las comunidades humanas con el ambiente es el objeto de estudio de la salud ambiental, definida por la Organización Mundial de la Salud como un campo del conocimiento que estudia la salud y sus determinantes físicos, químicos, biológicos, socio-culturales y psicológicos (Yassi et al., 1998). El adecuado funcionamiento de los ecosistemas promueve la salud y la prevención de enfermedades, mientras que la falta o degradación de los servicios ambientales tiene consecuencias no deseadas sobre el

bienestar humano. Un ejemplo de esto es el amortiguamiento de las temperaturas extremas por medio de la sombra y la evapotranspiración de los árboles, que brinda a las comunidades humanas una sensación de comodidad con el ambiente térmico.

Las variables climáticas como la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, así como condiciones individuales como la vestimenta y el lugar de procedencia influyen en la percepción de las personas con respecto al ambiente térmico, es decir, factores ambientales y personales determinan la experiencia de confort térmico. Este concepto fue originalmente estudiado en espacios interiores para optimizar la comodidad de los trabajadores en sus entornos laborales, pero con el tiempo la definición de confort térmico ha evolucionado para incluir variables que afectan tanto a ambientes interiores como exteriores, y su estudio continúa desarrollándose para abordarlo de manera más integral (Figura 1). La American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) desarrolló en 1923 el Índice de Temperatura Efectiva (ET), para medir la respuesta del cuerpo humano ante la temperatura y la humedad, este índice marcó el estudio del confort térmico durante décadas (Davydova, 2018; Montejano, 2013). Los enfoques de estudio más modernos toman en cuenta las condiciones climáticas locales, el diseño urbano y la adaptación cultural de la población.

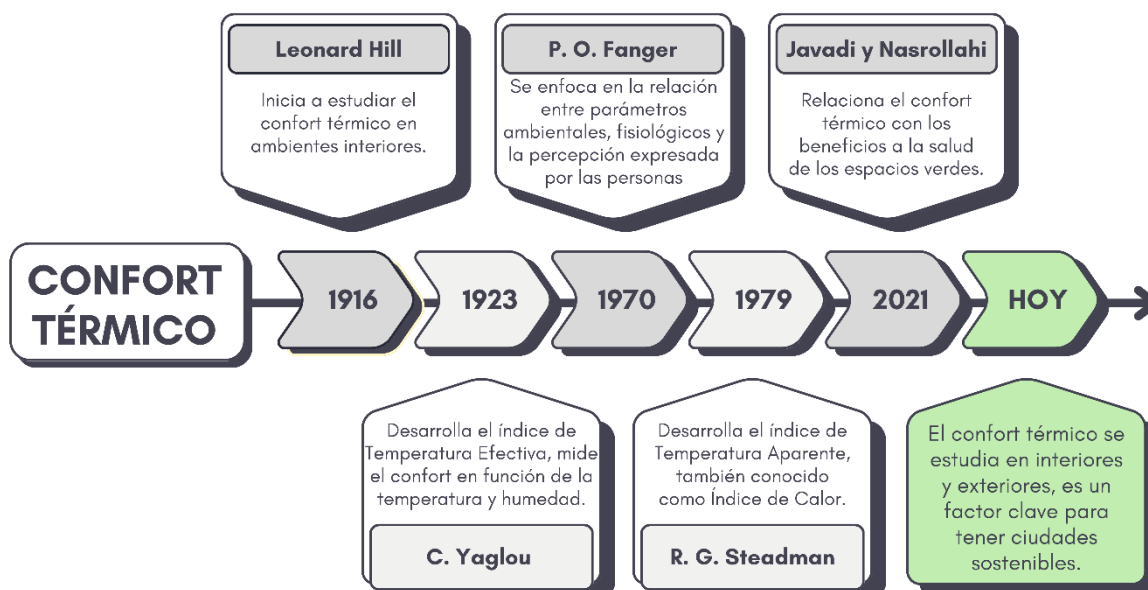


Figura 1. Evolución histórica del estudio del confort térmico. Fuente: Elaboración propia con información de Epstein & Moran (2006) y Montejano (2013).

Figure 1. Historical evolution of thermal comfort. Source: Own elaboration based on information from Epstein & Moran (2006) and Montejano (2013).

El confort térmico se define como la condición en la que una persona se siente satisfecha con el ambiente térmico, un estado en el que no experimenta ni frío ni calor excesivos (Djongyang et al., 2010). Los humanos mantienen su temperatura corporal a

través de la termorregulación, un proceso que equilibra la temperatura interna y externa mediante la pérdida y recepción de calor. La zona termoneutral, que oscila entre los 24 y 31 °C, es el rango en el que el cuerpo humano opera de manera óptima (Gordon, 2005). Las temperaturas que se encuentran fuera de este rango pueden perturbar procesos fisiológicos, afectando el funcionamiento del cuerpo.

A nivel global, el aumento de la temperatura ambiental es impulsado por dos factores principales: 1) El calentamiento global, resultado de las altas concentraciones de gases de efecto invernadero (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023) y 2) la planeación urbana inadecuada, que genera un desarrollo totalmente caótico de las ciudades. Los sitios densamente contruidos enfrentan serios retos ambientales como consecuencia de una urbanización no planificada, que ha dado lugar al fenómeno de la Isla de Calor Urbana (UHI). Este fenómeno, caracterizado por un aumento de la temperatura en áreas urbanas densamente contruidas en comparación con las rurales, afecta la calidad de vida y aumenta la demanda de aire acondicionado, especialmente durante las estaciones más cálidas (Alamilla & Davydova, 2020; Manzanilla, 2022). La combinación de la UHI y el calentamiento global puede influir significativamente en el confort térmico percibido por las comunidades urbanas. La exposición a altas temperaturas tiene efectos agudos y crónicos en la salud humana. Puede provocar malestar general, agotamiento, dificultades respiratorias, deshidratación, insolación, y exacerbar enfermedades crónicas como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (Turner et al., 2012; Löwe, 2016; Di Napoli et al., 2018; Vargas & Magaña, 2020; Lovriha, 2022; Grajeda et al., 2023; Lorenz et al., 2025). Los golpes de calor son una de las principales causas de muerte relacionadas con el clima, lo que subraya la necesidad de políticas públicas de resiliencia al calor (World Health Organization [WHO], 2024).

La frecuencia creciente de eventos de calor extremo en las ciudades resalta la urgencia de abordar estos desafíos desde una perspectiva de salud ambiental, donde se estudien los determinantes físicos, químicos, biológicos, socioculturales y psicológicos de la salud, es decir, mediante un enfoque integral (Orozco et al., 2021). Esta perspectiva permite identificar las causas de los retos socioambientales actuales y proponer medidas de adaptación y mitigación efectivas, como la conservación de los ecosistemas (Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara [IMEPLAN], 2023). La rápida expansión urbana, la deforestación y la industrialización intensifican la necesidad de estrategias que integren servicios ecosistémicos para mejorar el confort térmico y la salud pública (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2025; WHO, 2021; United Nations Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation [UNREDD], 2018).

El objetivo de esta revisión es explorar la relación entre los servicios ecosistémicos y el confort térmico en el contexto de la salud ambiental. A través de una revisión de la literatura científica, se busca identificar las estrategias que ayudan a mitigar los efectos adversos del cambio climático y la urbanización en el aumento de las temperaturas ambientales, para así mejorar el confort térmico.

El método de investigación para este estudio se fundamenta en una revisión sistemática de la literatura existente sobre servicios ecosistémicos y confort térmico, se

empleó un enfoque de búsqueda bibliográfica utilizando bases de datos reconocidas internacionalmente. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo mediante la Biblioteca Virtual de la Universidad de Guadalajara, accediendo a las bases de datos Scopus, Web of Science, y Wiley Online Library, además de Google Scholar. Se utilizó el operador booleano “AND” para unir las palabras clave “ecosystem services” y “thermal comfort”, asegurando que los resultados fueran relevantes para la temática del estudio. La selección de artículos para esta revisión siguió los siguientes criterios de inclusión:

- a) Tipo de estudio: artículos experimentales, estudios de caso, artículos de revisión.
- b) Idioma: publicaciones en inglés y español.
- c) Periodo de publicación: a partir del año 2015.
- d) Ámbito geográfico: sin restricciones geográficas, sin embargo, se priorizaron aquellos estudios realizados en climas tropicales y templados cálidos, dado su relevancia para el análisis de los efectos de altas temperaturas.
- e) Sitio de estudio: investigaciones realizadas en contextos urbanos.
- f) Tema principal: estudios que evaluaran confort térmico y su relación con los servicios ambientales de la vegetación urbana, así como sus efectos en la salud.

Se excluyeron aquellos artículos con un enfoque de confort térmico industrial o sin ninguna relación con los servicios ecosistémicos.

Para la organización de la información, se empleó el gestor de referencias Mendeley, facilitando la síntesis y análisis de los datos recopilados. La recolección de datos se centró en la identificación de artículos relevantes mediante la lectura preliminar de títulos, resúmenes y palabras clave. Los 30 artículos seleccionados fueron ubicados en tres categorías conceptuales: 1) Servicios ecosistémicos y su influencia en el confort térmico, 2) El rol de los espacios verdes y 3) La salud ante altas temperaturas. Cabe señalar que se utilizaron referencias complementarias a los artículos que se obtuvieron a través de la búsqueda, como literatura de apoyo y reportes técnicos con el propósito de contextualizar y enriquecer la discusión. Este método permitió una selección eficiente de estudios que abordan directamente los temas de servicios ecosistémicos y confort térmico.

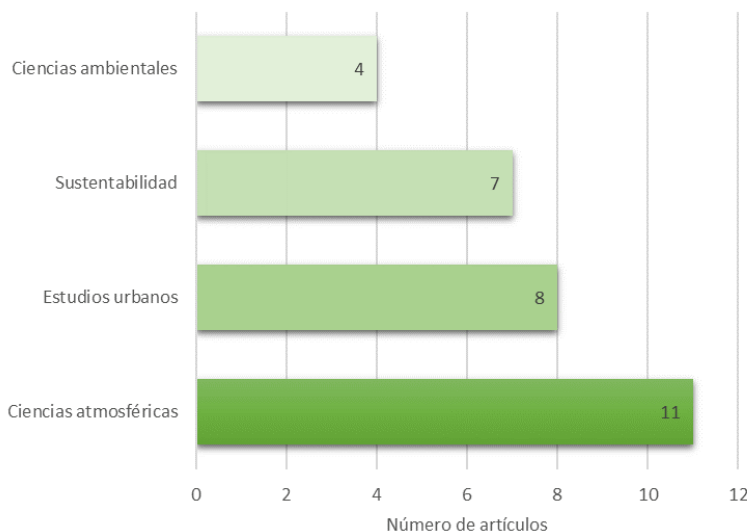


Figura 2. Clasificación según área del conocimiento de los artículos seleccionados. Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de búsqueda.

Figure 2. Classification of selected articles by field of knowledge. Source: Own elaboration based on search results.

Los artículos elegidos corresponden principalmente al área de ciencias ambientales. Otras áreas del conocimiento que se relacionan con el tema revisado son ciencias atmosféricas, estudios urbanos y sustentabilidad (Figura 2). Para sintetizar los principales hallazgos de la revisión se presenta la Tabla 1, con diez de los artículos seleccionados que destacan porque a pesar de utilizar distintas metodologías presentan evidencia sobre el tema tratado. Entre los resultados más relevantes se encontró que la regulación climática por parte de la vegetación es el servicio ecosistémico más estudiado en relación al confort térmico. Además, la mayoría de los estudios consideran que la expansión urbana condiciona la eficiencia de los servicios ambientales.

Tabla 1. Hallazgos relevantes sobre la investigación de los servicios ecosistémicos y confort térmico en zonas urbanas.

Table 1. Key findings from research on ecosystem services y thermal comfort in urban zones.

Autor y año	Resumen	Área del conocimiento
Camacho Sandoval et al., 2024	La pérdida de vegetación en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) entre 1980 y 2020 ha resultado en la intensificación de la Isla de Calor Urbana (ICU). La probabilidad de que el Índice de Calor (IC) supere los 30°C ha aumentado en alrededor del 10% en 30 años, principalmente en la zona oriente.	Ciencias ambientales

Heng & Chow, 2019	La percepción del confort está fuertemente influenciada por la aclimatación individual y por el contexto del espacio verde. Los aclimatados (residentes por más de 6 meses) mostraron una mayor tolerancia al calor, alcanzando la neutralidad térmica a temperaturas ligeramente más altas.	Ciencias ambientales
Sinha et al., 2021	La cobertura arbórea urbana tiene el potencial para mitigar el calor extremo y reducir la mortalidad prematura. Se estima que la cobertura arbórea existente en Baltimore reduce la mortalidad anual en 543 muertes en comparación con un escenario sin árboles.	Ciencias ambientales
Visvanathan et al., 2024	En Chennai, India, se encontró una reducción significativa en las temperaturas de las habitaciones ubicadas debajo de áreas con jardines en terrazas, comparado con habitaciones bajo techos completamente expuestos. Las reducciones variaron de 4 a 11 °C, dependiendo de la hora del día.	Ciencias ambientales
Anderson et al., 2024	Se encontró que la comodidad térmica no es la principal razón para visitar el parque, pero sí es un motivador fuerte en días más calurosos, particularmente para los adultos mayores.	Estudios urbanos
Gherri, 2024	Realiza modelos para la cuantificación de la reducción de las temperaturas locales de la vegetación, especialmente en el contexto del clima futuro.	Estudios urbanos
Ren et al., 2022	Las calles con mayor cobertura arbórea (75%) presentaron una temperatura equivalente fisiológica (PET) significativamente más baja y, por lo tanto, fueron más cómodas en comparación con aquellas con cobertura media (35%) o baja (13%).	Estudios urbanos
Colunga et al., 2015	La cubierta vegetal influye en las variaciones de temperatura y la intensidad de la ICU. Se destaca la importancia de integrar espacios verdes urbanos, ya que aumentar la cubierta vegetal puede reducir la intensidad de la ICU hasta 2.05 °C.	Ciencias atmosféricas
Deng et al., 2022	La expansión urbana y la reducción de cuerpos de agua en áreas como Wuhan, ha tenido un impacto perjudicial en el clima de verano.	Ciencias atmosféricas
Santiago-Ramos & Hurtado-	Analiza la provisión de servicios ecosistémicos por parte de la infraestructura verde en el área metropolitana de Sevilla. Mediante indicadores de	Sustentabilidad

Rodríguez, 2021	multifuncionalidad, se concluye que la planeación territorial debe considerar el aporte a la sostenibilidad del espacio libre urbano.
--------------------	---

Fuente: Elaboración propia. Source: Own elaboration.

Los servicios ecosistémicos y su influencia en el confort térmico

Los servicios ecosistémicos se entienden como los bienes y servicios de la naturaleza que son fundamentales para la vida y la salud y por tanto están íntimamente relacionados con el bienestar humano. De manera general, estos beneficios se agrupan en cuatro categorías: servicios de base, de regulación, aprovisionamiento y culturales ([Food and Agriculture Organization \[FAO\], 2020](#); [Jeglitzka & Garibay, 2020](#)). Esta clasificación corresponde a la propuesta realizada por la Organización de las Naciones Unidas en 2005, a través de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Sin embargo, el concepto de servicios ecosistémicos se ha discutido en otras iniciativas internacionales como el proyecto The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) y la Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), los cuales incorporan la valoración monetaria y un enfoque contable para el monitoreo ecosistémico. Cualquier clasificación que se tome como referencia mantiene la idea de que los ecosistemas son esenciales para el bienestar humano, y coadyuvan a la salud física y mental de las personas ([CICES, 2025](#); [United Nations Environment Programme, 2025](#)).

Mientras la provisión de servicios ecosistémicos sea mayor, la sostenibilidad de un territorio también se incrementa ([Calle et al., 2025](#)). Es por ello que el término de servicios ecosistémicos se relaciona con el concepto de desarrollo sostenible. Por ejemplo, las áreas verdes al proveer servicios ecosistémicos son un indicador de sostenibilidad en las ciudades, por su valor estético y recreativo, por ofrecer zonas frescas y mejorar la calidad del aire.

En las comunidades urbanas los beneficios de la naturaleza pueden ser menos evidentes, pero no son menos fundamentales ([Maradiaga, 2024](#)). En este sentido, las ciudades tienden a ser espacios en que los servicios ecosistémicos no son completamente reconocidos y valorados. Sin embargo, se ha reportado que la mayoría de las personas están de acuerdo en que la ciudad necesita más árboles, y perciben los lugares sombreados como la característica más importante del espacio verde urbano ([Speak & Salbitano, 2021](#)).

Para el caso del confort térmico, los servicios ecosistémicos de regulación tienen influencia directa sobre el clima. Por su parte, los servicios de soporte, provisión y culturales también contribuyen al confort térmico aunque de manera indirecta ([MEA, 2005](#)).

Tabla 2. Aspectos clave de los servicios ecosistémicos asociadas al confort térmico.

Table 2. Key aspects of ecosystem services linked to thermal comfort.

SOPORTE
Son los servicios base de los ecosistemas, incluyen los ciclos biogeoquímicos.

Suelos sanos	Ante el efecto de Isla de Calor Urbana las comunidades de nemátodos experimentan cambios en su abundancia y diversidad (Hu et al., 2024). Los nematodos son por tanto elementos clave del suelo y pueden indicar cambios en la temperatura.
--------------	---

Ciclo del agua	El cambio climático y los cambios en el uso del suelo generan variabilidad espacial y temporal en el ciclo del agua, lo que agrava su escasez y el aumento de las temperaturas (Yang et al., 2021).
----------------	---

REGULACIÓN

Son procesos que permiten el equilibrio de los ecosistemas.

Evapotranspiración	Mediante un modelo de balance térmico se concluyó que el efecto de la evapotranspiración es capaz de disminuir hasta en 1°C la temperatura del aire (Ballinas & Barradas, 2015).
--------------------	--

Sombra y viento	La estructura y ubicación de la vegetación influye en la radiación solar y la velocidad del viento. El confort térmico (medido en reducción de temperatura equivalente promedio PET) se puede lograr mediante una adecuada estrategia de ubicación de la vegetación (Hao et al. 2023).
-----------------	--

PROVISIÓN

Son los productos que se obtienen directamente de los ecosistemas.

Agua dulce	Mediante modelos de simulaciones de un sistema urbano-lacustre, Deng et al. (2022) encontraron que la presencia de masas de agua redujo la temperatura máxima diurna y aumentó el contenido de humedad en zonas urbanas y edificadas.
------------	---

Agricultura urbana	Los huertos y jardines urbanos son una estrategia sostenible que puede ayudar a mitigar las altas temperaturas. Visvanathan et al. (2024) encontraron una reducción significativa de la temperatura interior en las zonas con techos verdes en comparación con las habitaciones con techos completamente expuestos.
--------------------	---

CULTURALES

Son beneficios inmateriales brindados por la naturaleza.

Bienestar emocional	Xin et al. (2024) evaluaron las respuestas emocionales de las personas ante los espacios verdes y encontraron asociación
---------------------	--

Turismo

entre el índice de vista verde y un mayor nivel de confort, así como emociones positivas.

Las variables climáticas influyen en las actividades turísticas que se realizan en un sitio. Un paseo de tres horas en un día normal de verano por el centro histórico de Córdoba, España muestra niveles altos de estrés térmico para las personas (Sánchez & Ruiz, 2024).

Fuente: Elaboración propia. Source: Own elaboration.

En las comunidades urbanas los beneficios de la naturaleza pueden ser menos evidentes, las ciudades tienden a ser espacios en que no todas las categorías de los servicios ecosistémicos son reconocidas y valorados. En las comunidades urbanas los servicios culturales y los servicios de regulación son los que más comúnmente se reconocen (Navone et al., 2024). La mayoría de las personas aprecian los espacios verdes por su valor estético y perciben que los lugares arbolados son más frescos. Analizar cuánto saben los ciudadanos así como el valor que le dan a los servicios que la naturaleza brinda permite implementar estrategias de planificación y programas de educación ambiental (De Guzmán, Wohldmann, & Eisenman, 2023).

El confort térmico en el ecosistema de la ciudad puede estudiarse tanto en espacios urbanos interiores (autobús, oficinas, aulas de clase), como en espacios exteriores (parques urbanos, plazas, jardines). En este sentido, los parques urbanos son como oasis de enfriamiento en una ciudad, visitar el parque con motivo de experimentar confort térmico aumenta especialmente en los días ligeramente cálidos y calurosos, sobre todo entre los adultos mayores (Anderson et al., 2024). Determinar cómo se relaciona el uso de los espacios públicos ante la temperatura ambiental percibida por los usuarios permite adaptar los espacios según las necesidades de las comunidades urbanas.

Para cuantificar los servicios ecosistémicos se suele tomar como objeto de estudio a los árboles urbanos por su diversidad que ofrecen (Salmond et al., 2016; Sui et al., 2023; Frosini et al., 2024; Gherri, 2024), siendo los más destacados la producción de oxígeno, la captura y almacenamiento de carbono, la eliminación de contaminantes atmosféricos y la mitigación de la Isla de Calor Urbana. Se suele decir en general que los espacios menos verdes son más cálidos (Woodward et al., 2023). Livesley et al. (2016) concluyen que los árboles tienen un rol fundamental en cuatro desafíos ambientales de las ciudades: secuestro de carbono, contaminación del suelo y agua, hidrología de cuencas y confort térmico.

El papel de los espacios verdes para mejorar las condiciones de confort

Métodos utilizados para estudiar el confort térmico.

El confort térmico se suele estudiar mediante el cálculo de índices bioclimáticos y encuestas para hacer categorías de confort que permitan identificar temperaturas neutrales

(sin estrés térmico por calor o frío), aceptables (con solo un leve estrés térmico), ideales o peligrosas. Actualmente existen diversos índices bioclimáticos para evaluar el confort térmico, uno de los más utilizados es la temperatura efectiva (et) que se calcula con la formula $T-0.4(1-0.01*HR(T-10))$, donde T es la temperatura del aire (°C) y HR es la humedad relativa (%) (Missernard, 1937). Otro índice ampliamente aceptado es la temperatura aparente (TA), también se conoce como índice de calor, mide la sensación térmica del cuerpo humano con base en la humedad relativa y la temperatura del aire (Figura 3). El cuerpo humano es capaz de regular su temperatura mediante mecanismos de enfriamiento como la transpiración. Sin embargo, cuando la humedad ambiental es alta, la tasa de evaporación y la transpiración disminuyen, lo que ocasiona el aumento de la temperatura interna. Ante condiciones extremas, la capacidad de termorregulación del cuerpo humano se puede ver comprometida y ocasionar problemas de salud como deshidratación, golpes de calor y fallas cardiovasculares.

		TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (C)																		
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
HUMEDAD RELATIVA (%)	45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61	64	
	50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62			
	55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62				
	60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63					
	65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59	63						
	70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	63							
	75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62								
	80	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61									
	85	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65									
	90	31	34	37	41	45	49	54	58	64										
95	31	35	38	42	47	51	57	62												
100	32	36	40	44	49	54	60													
Clasificación		Índice de Calor					Efecto en el cuerpo													
Precaución		26-32°C					Posible fatiga con exposición prolongada y/o actividad física.													
Extrema precaución		32-41°C					El golpe de calor, los calambres y el agotamiento por calor son posibles con exposición prolongada y/o actividad física.													
Peligro		41-54°C					Los calambres y el agotamiento por calor son muy probables. La actividad continua podría resultar en un golpe de calor.													
Extremo peligro		Más de 54°C					El golpe de calor es inminente.													

Figura 3. Estimación de la Temperatura Aparente y categorías de riesgo para la salud.
Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (2022).

Figure 3. Apparent temperature estimation and health risk categories. Source: National Oceanic and Atmospheric Administration (2022).

Los valores límite en base a índices de estrés térmico indican cuando la tensión resulta inaceptable (Davydova, 2018), y son un indicador de las medidas que deberían tomarse para mantener o mejorar las condiciones de confort. Las estimaciones de índices bioclimáticos en las ciudades permiten conocer las tendencias del confort térmico en los ecosistemas urbanos en ambientes interiores y exteriores. Por ejemplo, investigaciones

realizadas en la Zona Metropolitana de Guadalajara muestran que se están perdiendo las condiciones de bioconfort gradualmente, ya que la categoría de confort según la temperatura efectiva va de 19.7°C a 22.9°C. Sin embargo, en la primavera la ET alcanza valores de 23.1°C (Alamilla & Davydova, 2020), estos valores se encuentran por encima del rango de confort, lo que implica mayor probabilidad de que poblaciones vulnerables como niños y adultos mayores presenten molestias ante una exposición prolongada.

Para el caso del confort térmico interior con índices bioclimáticos también se han encontrado valores que no corresponden al rango de “confort”. Davydova et al. (2019) evaluaron cuatro rutas de transporte público urbano, y encontraron que sólo 23% del cálculo de la TA corresponde a valores dentro del rango de “confort”, lo que es un riesgo de salud para los conductores y pasajeros.

Por su parte, la investigación de Heng y Chow (2019), identificó tres categorías de temperatura en las que los usuarios de un parque urbano en Singapur se sintieron cómodos al aire libre: 1) Temperatura neutral: 26.2 °C, 2) Temperaturas aceptables: entre 21.6 y 31.6 °C y 3) Temperatura preferida o ideal: 24.2 °C. Estos hallazgos permiten orientar el manejo de parques y espacios urbanos para optimizar el microclima y garantizar que los servicios ecosistémicos cumplan un rol efectivo en el confort térmico y bienestar de la población.

Algunos métodos indirectos asociados con el confort térmico son el cálculo de cobertura vegetal y cuantificación de sombra. En este sentido, cuando existen datos de inventario de árboles es más fácil monitorear los espacios verdes en las ciudades para realizar una valoración cuantitativa de sus servicios ambientales (Cruz & Perafan, 2021; Dominguez et al, 2022). Las proyecciones climáticas en softwares como ENVI-Met son otra herramienta que permite analizar el comportamiento térmico de los espacios verdes al simular escenarios climáticos con diferentes porcentajes de vegetación (Fuentes, 2021; Elraouf et al., 2022; Faragallah et al., 2022). La proyección de escenarios climáticos, acompañado de trabajo en campo resulta útil para planificar intervenciones que mejoren el confort térmico. Algunas intervenciones efectivas sería la arborización de zonas de la ciudad que más lo necesiten.

Importancia del tamaño y distribución del área arbolada.

Los beneficios de pequeñas zonas arboladas no son equivalentes a los beneficios de una sola área pero de mayor tamaño. El efecto de enfriamiento está más influenciado por el tamaño del área arbolada que por su forma (Jaganmohan et al., 2016). Para optimizar los beneficios de las zonas arboladas es importante evaluar cómo influye la disposición. Mediante herramientas digitales es posible crear escenarios hipotéticos para simular el efecto de enfriamiento de los árboles y distribuirlos de manera que cubran puntos críticos de exposición al calor. Hao et al. (2023) analizaron los mecanismos de enfriamiento de los árboles en un parque de Hong Kong y encontraron que si los árboles se concentraran en la zona del sotavento del parque en lugar de distribuirlos uniformemente se podría reducir en 0.3°C la temperatura ambiental, al permitir que el aire se enfríe al atravesar la masa arborea y se desplace hacia las áreas ocupadas por los usuarios del parque. Analizar cómo la cobertura arbórea se relaciona con la mitigación del estrés térmico humano es información relevante para que los tomadores de decisiones elijan los sitios más óptimos para plantar nuevos árboles y mejorar el nivel de confort térmico.

Importancia de la elección de las especies.

Seleccionar adecuadamente las especies en las estrategias de forestación urbana permite acercarnos a la recomendación de contar con al menos 9 metros cuadrados de áreas verdes por habitante (Garibay & Curiel, 2021). Se estima que para 2050 más del 70 por ciento de las especies de árboles urbanos podrían estar fuera de su rango de tolerancia de temperatura y precipitación (Esperon et al., 2022). Es importante considerar que se esperaba que los árboles nativos y la vegetación endémica tenga mayor adaptabilidad ante factores climáticos cambiantes (Kendal et al., 2018).

Las características fisiológicas y estructurales de la vegetación como tasa de evapotranspiración, altura, densidad foliar y orientación de las hojas, influyen en la capacidad de regulación de la temperatura, por lo tanto, esta difiere entre especies. La evaluación de las características de la vegetación es por tanto un criterio importante para la selección de especies como estrategia de mitigación. Aunque los servicios de la vegetación urbana están bien documentados, se conoce poco sobre el impacto específico de distintas especies de árboles en el confort térmico y el bienestar. Al analizar la regulación microclimática de tres especies arbóreas: *Camphora officinarum* (alcanfor), *Platanus acerifolia* (plátano de sombra) y *Ginkgo biloba* se encontró que los árboles de copa densa redujeron significativamente la Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), de manera que el nivel de confort térmico mejoró, aumentaron los puntajes de bienestar psicológico, al mismo tiempo que redujeron el estrés fisiológico (Elsadek et al., 2024).

Importancia de la escala árbol-calle-ciudad.

La presencia de árboles en el ambiente urbano afecta a la temperatura del aire en diversas escalas, desde cambios a nivel del propio árbol, nivel de calle hasta cambios a nivel del conjunto de la ciudad (Hernández, 2013). En este sentido, hay pocas investigaciones que comparen el efecto de enfriamiento de los árboles a distintos niveles, generalmente las investigaciones se enfocan en un solo nivel. Ren et al. (2022) analizaron tres calles con niveles de cobertura arbórea alta, media y baja respectivamente, y midieron parámetros microclimáticos así como parámetros fisiológicos para calcular PET, sus resultados mostraron que la calle con mayor cantidad de árboles presentó un ambiente más confortable que las otras dos. La frecuencia de estrés térmico intenso ($PET > 35^{\circ}\text{C}$) fue del 64% en la calle con baja cobertura, 11% en la de cobertura media y 0% en la de alta cobertura. Además, también hubo variación en los índices fisiológicos de los sujetos estudiados, la presión arterial sistólica y diastólica así como la frecuencia del pulso aumentó a medida que la cobertura arbórea disminuyó. Esta investigación es consistente con otros trabajos que muestran que los árboles en las calles de las ciudades son un factor clave para proveer bienestar (Ma et al., 2020; Javadi & Nasrollahi, 2021; Yin et al., 2024).

Implementación de la infraestructura verde-azul.

Entre las estrategias más comunes para mejorar el confort térmico se encuentra la infraestructura verde-azul, la cual se basa en estrategias para la protección, recuperación y creación de espacios verdes (Santiago-Ramos & Hurtado-Rodríguez, 2021; Carrasco et al., 2024). Este tipo de infraestructura incluye paredes y techos verdes, árboles, estanques y fuentes. La reducción de la temperatura y la mejora en la percepción térmica es distinta para cada tipo de estrategia. Al analizar distintos escenarios simulados se encontró que la única estrategia capaz de mejorar la percepción térmica fueron los escenarios basados en árboles, al disminuir la temperatura 0.93°C (Balany et al., 2022). Sin embargo estos

resultados son modelos, y en la práctica se debe analizar cada espacio para elegir la estrategia más conveniente.

Al impulsar proyectos de reforestación urbana es importante asegurarse que los ciudadanos entiendan la conexión entre los árboles y la salud, es decir, que se promueva la idea de que los árboles permiten mejorar el bienestar, la salud y la calidad de vida. La probabilidad de que se tomen medidas de protección contra el calor se relaciona con el conocimiento del tema que las comunidades tienen, esto sugiere la importancia del conocimiento ambiental de las personas para fomentar y eficientar la creación de espacios verdes que sean térmicamente confortables.

La salud ante el aumento de la temperatura

El funcionamiento de los ecosistemas está determinado por los ciclos de materia y energía, y la interacción entre los componentes biológicos y físicos. Cuando las actividades humanas alteran estos flujos, aumenta el ritmo del cambio climático global junto con los impactos en la salud pública (Wilcox & Jessop, 2010). El ser humano tiene una relación de interdependencia con la naturaleza, y el campo que estudia este vínculo es la Salud Ambiental, entendida como un campo interdisciplinario que estudia la salud de las comunidades humanas y la salud de los ecosistemas (Orozco et al., 2021). Este enfoque reconoce que cuando los servicios ecosistémicos se ven amenazados por la deforestación, la contaminación y el cambio climático, se compromete la capacidad de los ecosistemas para sostener la vida (Travis et al., 2018). En las áreas urbanas, la salud humana se ve influenciada positiva o negativamente por la exposición ambiental a la calidad del aire, el ruido, el calor y los espacios verdes. Por tanto, se requieren políticas que regulen el nivel de exposición a dichos factores.

Los árboles son quizá la estrategia de mitigación más ampliamente investigada y aplicada por sus beneficios de enfriamiento y su potencial para reducir el estrés térmico por calor en humanos. Taylor et al. (2024) estimaron las temperaturas diarias bajo diferentes coberturas del dosel en Londres, y encontraron que de 2015 al 2021 se previnieron 153 muertes asociadas al calor. Si Londres continúa con su estrategia actual de incrementar la cobertura arbórea, podría evitar anualmente 23 muertes atribuidas al calor para los años 2061-2080. Un caso similar en América es Mexicali, la ciudad con las temperaturas más altas durante el verano en todo México. García & Ley (2024), reportan que las defunciones asociadas a las ondas cálidas para el periodo 2002-2023 de dicha ciudad fueron de 332, con la cifra anual más alta de 45 muertes para el año 2023. La vulnerabilidad humana al calor está determinada por características socioeconómicas, no tener un protocolo de actuación ante temperaturas extremas afecta desproporcionadamente a las comunidades humanas (Graizbord et al., 2024). Saber esto indica la urgencia de que los programas de salud prioricen a las ciudades y poblaciones más vulnerables.

Conclusiones

Esta revisión explora las múltiples formas en que la naturaleza contribuye para propiciar confort térmico a las personas en los espacios urbanos. También se detallan los servicios ecosistémicos que brinda la vegetación, los cuales van más allá de solamente proporcionar oxígeno, de manera que se evidencia la importancia de su conservación. El

mayor aporte de esta revisión es que constituye la base teórica para futuras investigaciones y estrategias. La planificación urbana basada en evidencia como la que aquí se presenta permite maximizar los servicios ecosistémicos brindados por la vegetación urbana al tomar en cuenta las estrategias con mejores resultados. Las estrategias más efectivas para mejorar el confort térmico incluyen el mantenimiento de los espacios verdes urbanos existentes y la transición de la infraestructura gris a infraestructura verde, considerando una adecuada selección de especies. Se deben tomar en cuenta para la selección de especies criterios como su sitio de origen, así como su adaptación a las condiciones ambientales del lugar. Esta revisión desde el enfoque de la salud ambiental es un recurso de apoyo para una exitosa gestión ambiental, que promueva la adopción de políticas públicas como la arborización urbana, campañas educativas, y normativas de construcción para mitigar las altas temperaturas y lograr espacios urbanos térmicamente confortables que contribuyan al bienestar humano.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo: B. D. M. A.; Escritura y preparación del manuscrito: B. D. M. A., D. B. V., F. M. A.; Redacción, revisión y edición: B. D. M. A., D. B. V., F. M. A. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Alamilla, D. & Davydova, V. (2020). Isla de calor y confort térmico en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En Davydova Belitskaya, V. *La Gestión Climática en Jalisco*. Universidad de Guadalajara. <http://saludambiental.udg.mx/portfolio/la-salud-ambiental-en-la-universidad-de-guadalajara-2/>
- Anderson, C. C., Julia Sophie, U. H. R., & Schmidt, S. (2024). Visitor motivations and design feature use for thermal comfort on hot days in Bochum City Park, Germany. *Urban Forestry and Urban Greening*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128564>
- Balany, F., Muttill, N., Muthukumaran, S., Wong, M. S., & Ng, A. W. M. (2022). Studying the Effect of Blue-Green Infrastructure on Microclimate and Human Thermal Comfort in Melbourne's Central Business District. *Sustainability*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159057>
- Ballinas, M., & Barradas, V. L. (2015). The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 157–166. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056>
- Camacho Sandoval, T., Magaña Rueda, V. O., Ramos de Robles, S. L., & Gran Castro, J. A. (2024). Vegetation as a Regulator of Urban Climate: the Case of the Guadalajara Metropolitan Zone, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 114. <https://doi.org/10.14350/rig.60849>
- Calle, A., Cárdenas Agudelo, M. F., & Bedoya Montoya, C. M. (2025). Servicios ecosistémicos del arbolado urbano. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*. <https://doi.org/10.5821/siiu.12812>

- Carrasco, C., Palme, M., & Valenzuela Cabezas, J. (2024). Aplicación de cubiertas vegetales para la mitigación de la Isla de Calor Urbana en la ciudad de Valparaíso, Chile. *Architecture, City and Environment*, 19(56). <https://doi.org/https://doi.org/10.5821/ace.19.56.12581>
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. 2015. The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera* 28(3), 205-218. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.05>
- Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). 2025. *CICES Version 5.2*. <https://cices.eu/>
- Cruz, E., & Perafan, J. L. (2021). Carbono, sombra, temperatura y percepciones de los servicios ecosistémicos en los espacios verdes campus UDCA, Bogotá-Colombia. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad]. <https://repository.udca.edu.co/entities/publication/a8fcb4b0-e5da-476f-bd6f-b6908e9aa521>
- Davydova, V., Sánchez Torres, P., Georgina Orozco Medina, M., Figueroa Montaña, A., & García Velasco, J. (2019). Confort térmico al interior del transporte público de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Salud Ambiental*, 19(2), 125–135. <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/949>
- Davydova, V. (2018). *Confort térmico, bases y técnica*. En Orozco, M. G. Diagnóstico Ambiental en Ciudades. (pp. 129-148). Universidad de Guadalajara. https://www.researchgate.net/publication/343798006_Diagnostico_ambiental_en_Ciudades
- De Guzmán, E. B., Wohldmann, E. L., & Eisenman, D. P. (2023). Cooler and Healthier: Increasing Tree Stewardship and Reducing Heat-Health Risk Using Community-Based Urban Forestry. *Sustainability*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086716>
- Deng, X., Cao, Q., Wang, L., Wang, W., Wang, S., & Wang, L. (2022). Understanding the Impact of Urban Expansion and Lake Shrinkage on Summer Climate and Human Thermal Comfort in a Land-Water Mosaic Area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(11). <https://doi.org/10.1029/2021JD036131>
- Di Napoli, C., Pappenberger, F., & Cloke, H. L. (2018). Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 62(7), 1155–1165. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2>
- Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.040>
- Dominguez, S., Manzano Rodríguez, A., & Aguilar Parra, V. (2022). *Estudio y valoración de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la urbanización Zulema-Villalbilla (Comunidad de Madrid)*. 48 Congreso de Parques y Jardines Públicos PARJAP ZARAGOZA 2022. <https://villalbilla.es/wp-content/uploads/2021/11/publicacion-estudio-Zulema.pdf>
- Elraouf, R. A., ELMokadem, A., Megahed, N., Eleinen, O. A., & Eltarabily, S. (2022). Evaluating urban outdoor thermal comfort: A validation of ENVI-met simulation through field measurement. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(2), 268-286. <https://doi.org/10.1080/19401493.2022.2046165>

- Elsadek, M., Nasr, A., Guo, L., Gong, X., Hassan, A., & Zhang, D. (2024). Urban Trees and Elderly Well-Being: Species-Specific Strategies for Thermal Comfort in Heat-Stressed Cities. *Forests*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/f16010055>
- Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health*, 44, 388-398
- Esperon, M., Tjoelker, M.G., Lenoir, J., Bumgartner, J. B., Beaumont, L. J., Nipperess, D. A., Power, S. A., Richard, B., Rymer, P. D. & Gallagher, R. V. (2022). Climate Change increases global risk to urban forests. *Nature Climate Change*. 12, 950–955. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01465-8>
- Falcón, A. (2007). Espacios Verdes Para Una Ciudad Sostenible. Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión. Ed. Gilberto Gil.
- Faragallah, R. N., & Ragheb, R. A. (2022). Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.004>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). Biodiversity for food and agriculture and ecosystem services: Thematic Study for The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. <https://doi.org/10.4060/cb0649en>
- Frosini, G., Amato, A., Mugnai, F., & Cinelli, F. (2024). The Impact of Trees on the UHI Effect and Urban Environment Quality: A Case Study of a District in Pisa, Italy. *Atmosphere*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/atmos15010123>
- Fuentes, C. A. (2021). Vegetación y control del microclima urbano: modelos y patrones espaciales de la mitigación de temperaturas en barrios del Gran Concepción. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Concepción, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía]. <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/8dd501ab-11ff-4d9e-bbe0-0c64aaac8f49/content>
- García, R., & Ley, J. (2024). Heat waves in Mexicali, Baja California, Mexico: morbidity, mortality and vulnerability to heat. *Investigaciones Geográficas*, 114. <https://doi.org/10.14350/riq.60848>
- Garibay, M. G., & Curiel, A. (2021). Demandas al sector salud ante las manifestaciones del cambio climático en Jalisco. *Revista Bio Ciencias*, 8. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e884>
- Gherri, B. (2024). Urban Green Spaces and Their Role in Responding to the Heat Island Effect in Historical Urban Context. *Sustainability in Energy and Buildings. Smart Innovation, Systems and Technologies*, 378. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8501-2_40
- Gordon, C. J. (2005). Temperature and Toxicology. An Integrative, Comparative, and Environmental Approach. *Taylor & Francis*. <https://doi.org/10.1201/9781420037906>
- Graizbord, B., González Granillo, J. L., & López Ibarra, O. (2024). Vulnerabilidad y riesgo climático. Los retos de la Ciudad de México hacia el primer tercio del siglo XXI. *Investigaciones Geográficas*, 114. <https://doi.org/10.14350/riq.60844>
- Grajeda, R. M., Levet-Nofrietta, A., Mondragón-Olan, M., & Velázquez-Sanabia, C. (2023). La importancia de la isla de calor urbano como un indicador más a tomar en cuenta en los procesos de planeación urbana en las ciudades de México. *Revista e-RUA*, 15(03), 42-53. <https://doi.org/10.25009/e-rua.v15i03.192>
- Hao, T., Zhao, Q., & Huang, J. (2023). Optimization of tree locations to reduce human heat stress in an urban park. *Urban Forestry and Urban Greening*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128017>

- Heng, S. L., & Chow, W. T. L. (2019). How 'hot' is too hot? Evaluating acceptable outdoor thermal comfort ranges in an equatorial urban park. *International Journal of Biometeorology*, 63(6), 801–816. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01694-1>
- Hernández, A. (2013). *Manual de Diseño Bioclimático Urbano*. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas. Instituto Politécnico de Bragança. [https://oa.upm.es/15813/1/2013-BIOURB-Manual de diseño bioclimático b.pdf](https://oa.upm.es/15813/1/2013-BIOURB-Manual%20de%20dise%C3%B1o%20bioclim%C3%A1tico%20b.pdf)
- Hu, J., Chen, G., Wang, F., Hassan, W. M., Cai, M., Fan, W., & Yuan, X. (2024). Nematodes as biological indicators of urban heat island effects in the Chongqing area urban green spaces. *Ecological Indicators*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111439>
- Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN). 2023. "Estrategia de Resiliencia Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara", Guadalajara, Jalisco, México. [https://metropoliresiliente.imeplan.mx/assets/Estrategia%20de%20Resiliencia Completa-CrAIPBVz.pdf](https://metropoliresiliente.imeplan.mx/assets/Estrategia%20de%20Resiliencia%20Completa-CrAIPBVz.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
- Jaganmohan, M., Knapp, S., Buchmann, C. M., & Schwarz, N. (2016). The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 134–145. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0062>
- Javadi, R., & Nasrollahi, N. (2021). Urban green space and health: The role of thermal comfort on the health benefits from the urban green space; a review study. *Building and Environment*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108039>
- Jeglitzka, C., & Garibay, M. G. (2020). *Los parques como un espacio de oportunidades socio-culturales para la salud y bienestar de las personas en las ciudades*. En S. L. Ramos de Robles & F. de J. Lozano Kasten (Eds.), *Avances de Investigación desde la Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental*. Universidad de Guadalajara
- Kendal, D., Dobbs, C., Gallagher, R. V., Beaumont, L. J., Baumann, J., Williams, N. S. G., & Livesley, S. J. (2018). A global comparison of the climatic niches of urban and native tree populations. *Global Ecology and Biogeography*, 27(5), 629–637. <https://doi.org/10.1111/geb.12728>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- Lorenz, C., de Azevedo, T. S., & Chiaravalloti-Neto, F. (2025). Effects of climate change on the occurrence and distribution of Western equine encephalitis virus in South America. *Public Health*, 239, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.PUHE.2024.12.031>
- Lovriha, I. M. (2022). Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México. *Vivienda y comunidades sustentables*, (12), 9-25. <http://dx.doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.196>
- Löwe, S. A. (2016). An energy and mortality impact assessment of the urban heat island in the US. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.10.004>

- Ma, X., Wang, M., Zhao, J., Zhang, L., & Liu, W. (2020). Performance of different urban design parameters in improving outdoor thermal comfort and health in a pedestrianized zone. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072258>
- Manzanilla, U. (2022). Islas de calor urbanas: un fenómeno poco estudiado en México. Desde *El Herbario CICY*, 14, 178–186. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
- Maradiaga, M. F. (2024). Evaluación de los Servicios Ecosistémicos de las Áreas Verdes Urbanas: Planificación, diseño para la Salud Pública y la mitigación al Cambio Climático. [Tesis de Doctorado, Universidad de Granada, Programa de Doctorado en Biología Fundamental y de Sistemas]. <https://hdl.handle.net/10481/95005>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Missernard, A. (1937). *L'Homme et le climat*. Eyrolles, Paris.
- Montejano, M. (2013). *Arquitectura y Confort Térmico*. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/25376/1/16-ArquitecturaConfortTermico.pdf>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). *Heat Index*. <https://www.weather.gov/ama/heatindex>
- Navone, S. E., Palermo Arce, M., & Benito, G. (2024). Vínculo ciudadano-árbol urbano en la ciudad de Buenos Aires (Argentina): un enfoque desde los servicios ecosistémicos. *Agronomía y Ambiente*, 44(2), 84–93. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/305>
- Orozco, M. G., Garibay, M. G., León-Cortés, S. G. & Figueroa, A. (2021). *Análisis conceptual de la Salud Ambiental: evolución del concepto y campos de aplicación*. En Lozano Kasten, F. J & Ramos de Robles, S. L (eds.), *Perspectivas Metodológicas y Métodos en Salud Ambiental*. (pp. 11-48). Universidad de Guadalajara.
- Ren, Z., Zhao, H., Fu, Y., Xiao, L., & Dong, Y. (2022). Effects of urban street trees on human thermal comfort and physiological indices: a case study in Changchun city, China. *Journal of Forestry Research*, 33(3), 911–922. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01361-5>
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., MacIntyre, H., McInnes, R. N., & Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Sánchez, J. L., & Ruiz, M. (2024). Assessment of Outdoor Thermal Comfort in a Hot Summer Region of Europe. *Atmosphere*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/atmos15020214>
- Santiago-Ramos, J., & Hurtado-Rodríguez, C. (2021). An analysis of ecosystem services for the design of a green infrastructure in the metropolitan area of Seville. *Architecture, City and Environment*, 16(46). <https://doi.org/10.5821/ace.16.46.9884>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). *Servicios ambientales o ecosistémicos, esenciales para la vida*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/servicios-ambientales-o-ecosistemas-esenciales-para-la-vida?idiom=es>

- Sinha, P., Coville, R. C., Hirabayashi, S., Lim, B., Endreny, T. A., & Nowak, D. J. (2021). Modeling lives saved from extreme heat by urban tree cover. *Ecological Modelling*, 449. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109553>
- Speak, A. F., & Salbitano, F. (2021). Thermal comfort and perceptions of the ecosystem services and disservices of urban trees in florence. *Forests*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/f12101387>
- Sui, Q., Jia, H., Zhao, M., Zhou, Y., & Fan, L. (2023). Quantitative Evaluation of Ecosystem Services of Urban Street Trees: A Case Study of Shengjing Historical and Cultural Block in Shenyang, China. *Sustainability*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032532>
- Taylor, J., Simpson, C., Brousse, O., Viitanen, A. K., & Heaviside, C. (2024). The potential of urban trees to reduce heat-related mortality in London. *Environmental Research Letters*, 19(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad3a7e>
- Travis, D. A., Alpern, J. D., Convertino, M., Craft, M., Gillespie, T. R., Kennedy, S., Robertson, C., Shaffer, C. A., & Stauffer, W. (2018). *Biodiversity and Health*. En Herrmann, J. A. & Johnson-Walker Y. J. (Eds.), *Beyond One Health: From Recognition to Results*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119194521.ch6>
- Turner, L. R., Barnett, A. G., Connell, D. & Tong, S. (2012). Ambient Temperature and Cardiorespiratory Morbidity: A Systematic Review and Meta-analysis. *Epidemiology* 23(4), 594-606. <https://doi.org/10.1097/ede.0b013e3182572795>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2025). Programa sobre el Hombre y la Biosfera. <https://www.unesco.org/es/mab>
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2025. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) is a global initiative focused on “making nature’s values visible”*. <https://www.unep.org/topics/teeb>
- United Nations Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation. (UNREDD). (2018). *Bosques territorios de vida: Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques*. https://redd.unfccc.int/media/eicdgb_bosques_territorios_de_vida_web.pdf
- Vargas, N., & Magaña, V. (2020). Warm spells and climate risk to human health in the Mexico city metropolitan area. *Weather, Climate, and Society*, 12(3), 351–365. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-19-0096.1>
- Visvanathan, G., Patil, K., Suryawanshi, Y., Meshram, V., & Jadhav, S. (2024). Mitigating urban heat island and enhancing indoor thermal comfort using terrace garden. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60546-0>
- Wilcox, B., & Jessop, H. (2010). *Ecology and Environmental Health*. In F. Howard (Ed.), *Environmental Health: From Global to Local* (2nd ed.). Wiley.
- Woodward, A., Hinwood, A., Bennett, D., Grear, B., Vardoulakis, S., Lalchandani, N., Lyne, K., & Williams, C. (2023). Trees, Climate Change, and Health: An Urban Planning, Greening and Implementation Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph20186798>
- World Health Organization (WHO). (2021). *Nature, Biodiversity and Health: an overview of interconnections*. University of Exeter. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055581>
- World Health Organization (WHO). (2024). Heat and Health. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>

- Xin, B., Zhu, C., Geng, J., & Liu, Y. (2024). Emotional Perceptions of Thermal Comfort for People Exposed to Green Spaces Characterized Using Streetscapes in Urban Parks. *Land*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/land13091515>
- Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2 (2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- Yassi, A., Kjellström, T., De Kok, T. & Guidotti, T. (1998). Basic Environmental Health. Ed. World Health Organization.
- Yin, Y., Li, S., Xing, X., Zhou, X., Kang, Y., Hu, Q., & Li, Y. (2024). Cooling Benefits of Urban Tree Canopy: A Systematic Review. *Sustainability*, 16(12), 4955. <https://doi.org/10.3390/su16124955>