

# Techos con vegetación o techos verdes: una estrategia para alcanzar la comodidad térmica y ahorrar energía eléctrica

Mtro. Alfredo Tobias Salas

Mtro. Marco Antonio Polo Labarrios

Mtro. Sergio Quezada García

Universidad Nacional Autónoma de México

tobiassalasalfredo@gmail.com

En las grandes ciudades, donde el asfalto y el concreto predominan, lograr una sensación de confort térmico en los edificios generalmente requiere el uso de sistemas de aire acondicionado. Estos sistemas, aunque efectivos, consumen una gran cantidad de electricidad, lo que contribuye a la producción de gases de efecto invernadero y agrava el cambio climático. Una alternativa más sostenible son las técnicas pasivas de refrigeración, que no necesitan electricidad para funcionar. Un ejemplo destacado de estas técnicas es el uso de techos verdes.

## ¿Qué son los techos verdes?

Los techos verdes, también conocidos como techos vivos, consisten en la instalación de una capa de sustrato, como tierra, y plantas sobre un techo convencional de concreto (Figura 1). Además de mejorar la comodidad térmica, estos techos ofrecen múltiples beneficios ambientales y urbanos. Contribuyen significativamente al aumento de áreas verdes, favoreciendo la biodiversidad urbana al proporcionar hábitats para diversas plantas y animales. También ayudan a retener el agua de lluvia, reduciendo el escurrimiento y disminuyendo el riesgo de inundaciones. Actúan como una barrera natural que absorbe el ruido urbano, mitigando el ruido ambiental. Las plantas presentes en los techos verdes juegan un papel crucial en la purificación del aire, filtrando conta-

minantes y mejorando la calidad del aire. Además, estos techos ayudan a mitigar el efecto de isla de calor, disminuyendo las temperaturas en las zonas urbanas y creando ambientes más frescos. Entre otros beneficios los techos verdes reducen la necesidad de aire acondicionado en los edificios, lo que se traduce en un ahorro energético significativo y una disminución del consumo eléctrico [1].

La sensación de comodidad térmica puede medirse mediante el voto medio estimado (PMV), una escala de siete puntos que evalúa cómo se siente un grupo de personas en un determinado ambiente térmico. Los factores que considera este método son: la actividad física y la vestimenta de las personas; así como, la temperatura, la velocidad y la humedad del aire [3].



Figura 1. Ejemplos de edificaciones con techo convencional (izquierda) y techo verde (derecha) compuesto por una capa de sustrato y una capa de plantas.

## Evaluación de la comodidad térmica

La comodidad térmica se refiere a la sensación de bienestar de las personas con respecto a la temperatura de su entorno. Generalmente, la gente se siente cómoda con temperaturas entre 23°C y 27°C, aunque esto puede variar según la humedad, la velocidad del aire y otros factores personales como la actividad física y la vestimenta [2]

## Objetivo del estudio

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto térmico de los techos verdes en una vivienda en Mexicali, Baja California. Se utilizó el software EnergyPlus para simular cómo los techos verdes afectan la temperatura interior, la comodidad térmica y el consumo eléctrico para refrigeración en comparación con un techo convencional que es un

software libre (gratuito) de simulación energética de edificios completos [4]. EnergyPlus permite la simulación energética de edificios sin importar su geometría y sus dimensiones, se pueden cambiar las propiedades térmicas de los materiales, la orientación del edificio y las condiciones climáticas.

## Metodología

El estudio incluyó cinco pasos principales que se detallan a continuación. Primero se modeló una vivienda típica de dos pisos en EnergyPlus. La planta baja incluía una sala-comedor, baño, cocina y un dormitorio, mientras que el primer piso contaba con una sala de televisión, dos dormitorios y un baño.

Este modelo 3D permitió una representación precisa de la geometría y orientación del edificio respecto al sol, lo cual es crucial para una simulación precisa. En el segundo paso, para el techo convencional, se utilizó concreto, un material común y económico en la construcción residencial debido a su bajo costo y durabilidad. En cambio, el techo verde se configuró añadiendo una capa de sustrato de 10 cm de profundidad y una capa de plantas crasas de 20 cm de altura.

Las plantas suculentas, como cactus y agaves, fueron seleccionadas por su baja demanda de mantenimiento y alta resistencia a las condiciones climáticas extremas. Estos materiales proporcionaron una base sólida para comparar las diferencias en rendimiento térmico entre ambos tipos de techo. Luego las simulaciones se realizaron utilizando datos climáticos reales de Mexicali, Baja California, una ciudad conocida por su clima cálido-seco extremo. Durante los meses

más calurosos, como julio y agosto, las temperaturas diurnas pueden superar los 40°C, mientras que las temperaturas nocturnas rara vez bajan de los 25°C. En invierno, las temperaturas promedio rondan los 12°C, con variaciones que van de 7°C a 24°C. Estos datos se introdujeron en el software EnergyPlus para realizar una simulación precisa de las condiciones climáticas a lo largo de un año completo. El PMV se utilizó para evaluar la comodidad térmica en el dormitorio más expuesto al sol. Este método considera factores como la actividad física, la vestimenta de los ocupantes, y las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y la velocidad del aire.

Se asignaron valores específicos a cada uno de estos factores para calcular el PMV, que varía en una escala de -3 (muy frío) a +3 (muy caliente), siendo 0 el punto de confort ideal. Esta evaluación permitió identificar las variaciones en la comodidad térmica entre las viviendas con techo convencional y techo verde.

Como paso final se realizaron simulaciones adicionales para determinar el consumo eléctrico del aire acondicionado en ambos escenarios: con techo convencional y con techo verde. El objetivo fue identificar los períodos en los que era necesario el uso de aire acondicionado para mantener la comodidad térmica y calcular el ahorro energético proporcionado por el techo verde. Se utilizó el PMV como criterio para determinar cuándo era necesario el aire acondicionado, simulando su operación en los momentos en que el PMV excedía un valor de 0.5.

## Resultados

Los resultados mostraron que los techos verdes reducían significativamente la temperatura interior del dormitorio más expuesto al sol. Por ejemplo, en junio, la temperatura en el dormitorio con techo verde fue 10.8°C más baja que con un techo convencional. En promedio, el techo verde logró reducir la temperatura interior en 5.7°C durante todo el año. Esta reducción es significativa y demuestra el potencial de los techos verdes para mejorar la comodidad térmica en climas cálidos.

La implementación de techos verdes mejoró notablemente la comodidad térmica. De marzo a noviembre, los ocupantes experimentaron una menor sensación de calor, alcanzando niveles de confort en varios meses. Sin embargo, en los meses más calurosos (junio a octubre), aún fue necesario el uso de aire acondicionado para mantener una temperatura cómoda.

En enero, febrero, marzo, octubre y noviembre, los ocupantes del dormitorio con techo verde experimentaron una comodidad térmica óptima durante la mayor parte del día. Durante abril, hubo comodidad térmica la mayor parte del tiempo, excepto en las tardes de 14:00 a 17:00 horas, donde se observó una ligera sensación de calor.

Estos resultados se muestran en la Figura 2, la imagen superior para la vivienda con techo convencional y la inferior para la vivienda con techo verde; en estas figuras el color morado indica una sensación de mucho frío y el color amarillo indica una sensación de mucho calor. En ambas figuras el eje x representa los meses del año, el eje y representa la hora del día y los números que aparecen sobre las curvas son los valores del PMV.

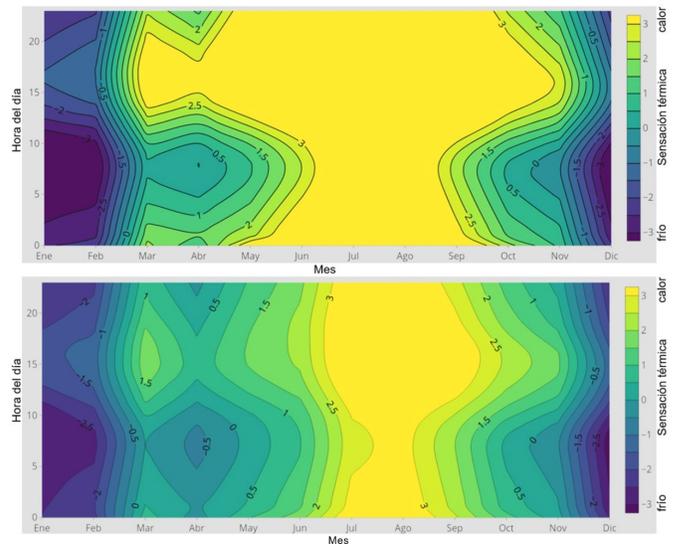


Figura 2. Sensación térmica en un dormitorio con techo convencional (superior) y techo verde (inferior), durante todo el año, en Mexicali.

El techo verde también redujo significativamente el consumo eléctrico del aire acondicionado (Figura 3). En agosto, el consumo eléctrico del dormitorio con techo convencional fue de 774 kWh, mientras que con techo verde se redujo a 448 kWh, un ahorro del 48%. En abril, la reducción fue aún mayor, alcanzando el 64%. En total, el ahorro anual en consumo eléctrico fue del 46%, evitando la emisión de 883 kg de CO<sub>2</sub>e.

## Conclusiones

Los techos verdes son una solución eficaz y sostenible para mejorar la comodidad térmica en viviendas urbanas, especialmente en climas cálidos como el de Mexicali. Aunque no eliminan completamente la necesidad de aire acondicionado en los meses más calurosos, su implementación reduce significativamente el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los techos verdes aportan beneficios adicio-

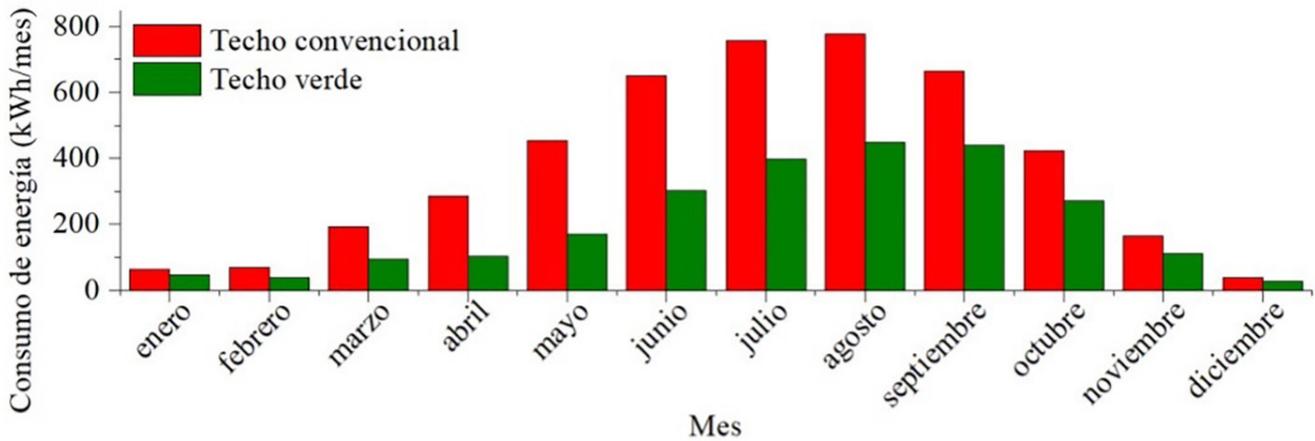


Figura 3. Consumo eléctrico del equipo de acondicionamiento de aire con techo convencional y techo verde en el dormitorio 2.

nales como la mejora de la biodiversidad urbana, la gestión del agua de lluvia y la purificación del aire.

La adopción de techos verdes en las ciudades podría ser una estrategia clave para combatir el cambio climático y mejorar la calidad de vida de los habitantes. Estudios adicionales podrían explorar su efectividad en diferentes climas y con diversos materiales, así como su impacto a gran escala en la sostenibilidad urbana.

En el futuro, sería beneficioso realizar estudios similares en otras regiones de México y el mundo para evaluar la viabilidad de los techos verdes bajo diferentes condiciones climáticas. También sería interesante investigar el uso de diferentes tipos de vegetación y sustratos para optimizar el rendimiento térmico y ambiental de los techos verdes. Además, la implementación de techos verdes a gran escala podría tener un impacto significativo en la reducción del efecto de isla de calor en las ciudades y en la mejora de la calidad del aire urbano.

## REFERENCIAS

- [1] G. Mihalakakou et al., 'Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 180, p. 113306, Jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113306>
- [2] Y. A. Cengel, *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*, 3ra ed. México: Mc Graw Hill, 2007.
- [3] R. Z. Freire, G. H. C. Oliveira, and N. Mendes, 'Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings', *Energy Build.*, vol. 40, no. 7, pp. 1353–1365, Jan. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.12.007>
- [4] S. Yuan and D. Rim, 'Cooling energy saving associated with exterior greenery systems for three US Department of Energy (DOE)