

LA INVESTIGACIÓN BIOCLIMÁTICA SOBRE EL BOSQUE URBANO

Los estudios relacionados con el bosque urbano vienen desarrollándose en Europa desde 1997 a 2002, desde una estructura gubernamental conocida como **Acción COST-E12 Bosques y árboles urbanos**. COST significa "Cooperación europea en el campo de la investigación científica y técnica". Su principal objetivo es garantizar que Europa mantenga una posición sólida en este ámbito. de la investigación científica y técnica con fines pacíficos, aumentando la cooperación europea e interacción en este campo. Se basa en las llamadas "Acciones", que son redes de proyectos de investigación nacionales coordinados en campos que son de interés para la diferentes estados miembros. Las acciones están descritas en un Memorando de Entendimiento (MOU) firmado por los gobiernos de los estados COST que desean participar en la acción.

El beneficio de la termorregulación del bosque urbano

Los beneficios del bosque urbano ya se han expuesto detalladamente con anterioridad, pero es pertinente retomar esta cuestión en este apartado para desarrollar un poco más en otra de las propiedades del bosque urbano que empieza a ganar importancia en el contexto actual de crisis climática, con olas de calor, altas temperaturas y sequías: la **termorregulación del aire de la ciudad**. De hecho, en los últimos años se viene insistiendo en la importancia del bosque urbano en la mitigación de los efectos del cambio climático por aumento de la resiliencia térmica que proporciona la arboleda y bosque urbano.

a.-Las islas de calor. Muchas ciudades y pueblos de todo el mundo experimentan niveles de temperatura del aire más elevados que la de las zonas rurales circundantes. Este efecto se denomina la *isla de calor urbana* (ICU) y varía según la estación, el tiempo de día, condiciones climáticas, tamaño y características de la ciudad. En climas templados, la ICU es particularmente notable en climas despejados y noches tranquilas y cálidas. Por ejemplo, las temperatura del aire nocturno de las zonas urbanas nocturnas son de entre 7 y 10°C más altas que las registradas en zonas rurales adyacentes.

El efecto ICU es causado por una combinación de factores relacionados con urbanización, ya que las zonas urbanas están cubiertas en gran medida por materiales inertes, sin vegetación. Las áreas con vegetación pierden gran parte de la energía que reciben de la radiación solar y de onda larga a través de evapotranspiración (efecto denominado "pérdida de **calor latente**"), lo cual puede reducir las temperaturas de sus hojas y del aire adyacente. Por el contrario, las zonas urbanizadas sin vegetación almacenan la energía que recibe y liberarla como radiación de onda larga y **calor sensible**, calentando así el medio ambiente local.

1. El calor latente es la energía necesaria para cambiar el estado de un sólido, líquido o gas, sin cambiar la temperatura de la sustancia. Cuando el agua se evapora en el suelo, desde la superficie del agua o dentro de las hojas, este proceso utiliza parte de la energía almacenado por la superficie y lo enfría. Por el contrario, el calor latente puede liberarse a la superficie por condensación de agua.

2. El calor sensible es el calor que podemos sentir y que calienta las superficies y el aire. Cuando dos superficies están en contacto directo o cuando una superficie está en contacto con el aire, el calor se conduce o convecta desde un lugar más cálido a un lugar más frío.

La energía almacenada por diferentes superficies se libera principalmente después atardecer; sin embargo, en las zonas urbanizadas esto se produce lentamente a medida que los edificios crean barreras que reciben, absorben y liberan el energía, impidiendo el escape directo a la atmósfera. De ahí la diferencia entre lo urbano y lo rural. Las temperaturas se acentúan por la noche.

Las zonas urbanas también están más densamente pobladas que las rurales. El consumo de combustible y energía que se produce dentro de ciudades y pueblos para actividades como el transporte, la fabricación, la calefacción y la refrigeración, producen grandes cantidades de calor, aumentando el efecto de calentamiento urbano, y libera contaminantes que se acumulan en la atmósfera. Estos contaminantes transportados por el aire absorben parte de la radiación de onda larga emitida y redirigirla. de regreso al área urbana, además de aumentar la cantidad de energía que circula en él.

Durante una ola de calor, la temperatura del aire es considerablemente más alta de lo normal durante un período prolongado, lo que, junto con los cambios en la humedad local, las condiciones de viento suave y el aumento de radiación solar, se puede reducir sustancialmente el confort térmico humano. Las altas temperaturas del aire pueden agravar aún más afecciones cardiovasculares, respiratorias y renales, que conducen a un aumento de enfermedades, ingresos hospitalarios y muertes en la mayoría vulnerables, especialmente los niños pequeños y los ancianos. Además, las altas temperaturas del aire pueden exacerbar la contaminación del aire, lo que también puede contribuir a la mala salud. Por ejemplo, el nivel de ozono que se forma en el suelo es perjudicial para la salud humana y su formación aumenta con temperaturas del aire más altas. También se sabe que las altas temperaturas del aire aumenta el número de muertes asociadas con ingestas de partículas $<10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}). Por lo tanto, el riesgo de enfermedad o mortalidad durante los períodos cálidos se intensifica en las zonas urbanas que son afectadas por el efecto ICU y áreas que tienen concentraciones de contaminantes más altas en el aire.

Las proyecciones de cambio climático para la zona templada, incluyendo partes de Europa, América del Norte y el norte de Asia, pronostican que las olas de calor serán más frecuentes y severas en las futuras décadas. En consecuencia, las interacciones entre cambio climático, el efecto ICU y la calidad del aire urbano aumentarán el riesgo futuro para la salud pública en ciudades y pueblos de toda la región templada. Por lo tanto, se requieren estrategias de mitigación para reducir el impacto de las ICU y los climas más cálidos en el bienestar humano.

El bosque urbano como refugio climático

La infraestructura verde incluye la red de árboles urbanos y bosques, espacios verdes públicos y privados (como parques, jardines, canchas deportivas, huertos y corredores verdes), así como techos y muros verdes y áreas con vegetación asociadas con cuerpos de agua (por ejemplo, humedales) y proporciona numerosos beneficios a la sociedad urbana. Uno de esos beneficios es la moderación de la temperatura del aire local, que ocurre de varias maneras, como se ilustra en Fig.6.



Figura 6. Balance energético de las infraestructuras verdes. Nota: las flechas representan fuentes de energía y pérdidas de energía. Las flechas naranjas son fuentes de energía hacia la infraestructura verde: radiación solar entrante (onda corta), radiación entrante de onda larga y ganancia de calor sensible (calor transferido cuando la temperatura del aire, T_a , es mayor que la temperatura de la superficie, T_s). Ganancia de calor latente a través de la condensación de agua se supone ed para ser mínimo y no se muestra. Las flechas rojas son pérdidas de energía de la infraestructura verde que conducen a un aumento de la energía local. Temperaturas del aire: radiación de onda larga emitida y transferencia de calor sensible (cuando T_a es inferior a T_s). Las flechas azules son pérdidas de energía de la infraestructura verde que pueden provocar una reducción de la temperatura del aire local: liberación de calor latente (evapotranspiración) y radiación solar reflejada. La flecha azul discontinua está sombreada, lo que contribuye a reducir las temperaturas de la superficie al reducir la cantidad de radiación.

a.-Mediante la evapotranspiración, parte de la energía absorbida por las plantas evapora el agua dentro de sus hojas, enfriándolas. El vapor de agua resultante pasa luego a través de los poros (estomas) de la hoja, hacia el aire, sin calentar el aire a su alrededor. El agua en la superficie de las hojas, cuerpos de agua o suelo también puede evaporarse. El volumen total de agua que se evapora y es transcurrió depende no sólo del agua disponible para evaporación, sino también de las características de las hojas y suelo, el suministro de energía (de la radiación solar y de onda larga), la temperatura del aire, el déficit de presión de vapor del aire (la diferencia entre la cantidad de humedad en el aire y la máxima de humedad que el aire puede contener a una determinada temperatura) y las condiciones de viento.

b.-Mediante mayor reflexión de radiación solar. Las áreas con vegetación típicamente reflejan desde su superficie más radiación solar que las superficies artificiales oscuras. En consecuencia, se absorbe menos energía solar, dando como resultado que las áreas vegetadas tienen superficies más frías y temperaturas del aire más bajas en comparación con zonas urbanizadas y con poca o ninguna vegetación.

c.- Mediante una mayor capacidad de almacenamiento de calor y mediante sombra. Las áreas con vegetación tienen menores capacidades de almacenamiento de calor que muchos materiales artificiales y transfieren energía rápidamente al aire porque de sus múltiples hojas pequeñas y ramas que facilitan el paso del aire. movimiento. En consecuencia, una menor cantidad de energía en la radiación

absorbida durante el día será almacenada por áreas con vegetación y liberadas para calentar el aire por la noche en comparación con zonas urbanizadas y sin vegetación. Cuando los árboles, arbustos y otra vegetación adherida a los edificios protege otras zonas urbanas superficies (por ejemplo, suelo, pavimento y edificios) de la radiación, También puede reducir la cantidad de energía que esas superficies almacenar y posteriormente liberar.

d.-Mediante una vista más abierta del cielo. Espacios verdes, incluidos parques, jardines, plazas y otros los espacios cubiertos por vegetación baja pueden tener una mayor proporción del cielo visible (factor de visión del cielo más alto) en comparación con el cielo construido áreas. Esto promueve la pérdida de radiación de onda larga y el aire. circulación y ayuda a disipar la energía recibida.

Factores que afectan la eficacia de enfriamiento de espacios verdes urbanos

En climas templados, los beneficios refrescantes de los espacios verdes son más notables en noches tranquilas, claras y cálidas cuando el efecto del ICU es más fuerte. Durante estos periodos, la temperatura del aire dentro de los

espacios verdes suele ser más baja que las áreas urbanizadas de los alrededores las temperaturas del aire en áreas adyacentes a los espacios verdes también se reducen conforme el enfriamiento se extiende más allá de los límites de los espacios verdes. Una investigación forestal encontró que un gran parque de Londres tenía temperaturas del aire nocturnas que eran hasta 4 °C más bajos (promedio 1,1 °C) que los de las zonas urbanas áreas en este tipo de noches y que el enfriamiento se extendió en forma no lineal hasta 440 m (promedio 125 m) desde el espacio verde (Fig.7). Además, estudios recientes también han registró un enfriamiento

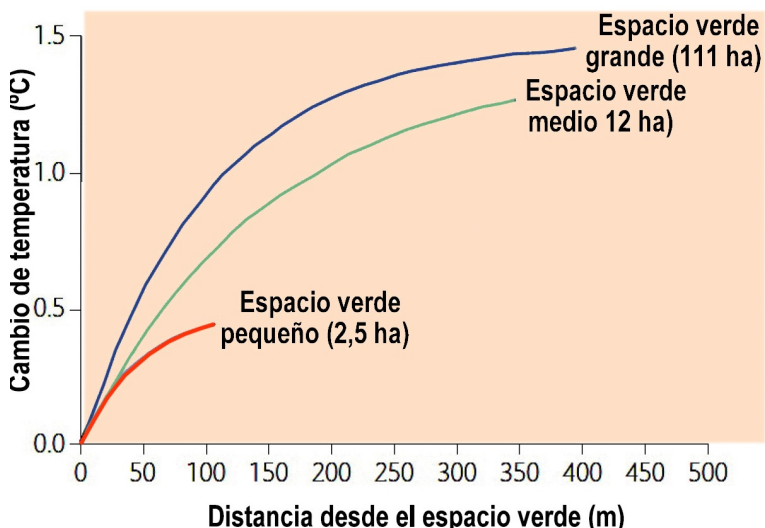


Figura 7. Un ejemplo de aumento estimado de la temperatura del aire con distancia creciente de espacios verdes de diferentes tamaños durante periodos cálidos y noches tranquilas hasta una distancia en la que la temperatura del aire se estanca.

significativo de los espacios verdes en climas templados durante el día. Esto se demostró, por ejemplo, en una campaña de seguimiento que registra temperaturas del aire durante el día y en alrededor de 62 parques urbanos y bosques en Leipzig, Alemania, donde los espacios verdes proporcionaron un enfriamiento cercano a los 3 °C (un promedio de 0,8 °C para bosques y 0,5 °C para parques), extendiéndose hasta 470 m desde su límites.

La intensidad máxima de enfriamiento y la máxima distancia máxima en la que hay un enfriamiento medible depende de las condiciones climáticas, las características del espacio verde y las de el área urbana circundante.

a.-El tamaño del espacio verde es una clave determinante. En Londres, por ejemplo, los espacios verdes más grandes proporcionan más enfriamiento que los más pequeños (Fig. 7). En oches cálidas y en calma, las intensidades y distancias máximas de refrigeración proporcionada por espacios

verdes pequeños y medianos (0,5-12 ha) estaban en el rango de 0,4-1°C y a 30-330 m, respectivamente, aunque no se encontró ningún enfriamiento estadísticamente significativo en espacios verdes muy pequeños (<0,5 ha). Sobre la base de esta evidencia, el modelado sugirió que para lograr el enfriamiento de ~0,7°C en todo Londres en noches cálidas y tranquilas, espacios verdes de 3 a 5 ha de superficie necesitarían estar situadas entre 100 y 150 m entre sí.

El distrito londinense de Camden se utilizó como caso de estudio para probar las implicaciones espaciales de lograr tal red de espacio verde. Camden ocupa 2.179 ha, y 907 ha (42%) de ellas están ya cubiertas por espacios verdes (Fig. 8). Basado en un modelo desarrollado para mapear la variación espacial del enfriamiento del aire

nocturno proporcionado por espacios verdes en Londres, el espacio verde actual se estimó que proporcionaba un enfriamiento nocturno >0,5°C a 381 ha del área edificada restante (17% de Camden), lo que significa que los espacios verdes actualmente no afectan a las temperaturas del aire en 891 ha (41% de Camden). Para conseguir enfriamiento en todo Camden con espacios verdes de 3 a 5 ha, sería necesario asignar ~360 ha de tierra a 120 nuevos espacios verdes de 3 ha (16% de Camden) o ~320 ha de tierra para 64 espacios verdes nuevos de 5 ha (15% de Camden; asumiendo que estos espacios verdes son

rectangulares). Es evidente que existen diferencias espaciales y barreras económicas para lograr una red tan estrecha en países con zonas altamente urbanizadas de ciudades como Londres. Sin embargo, esta información puede ser útil en el diseño de nuevas ciudades y urbanizaciones. para reducir el desarrollo de una ICU. Además, esta estimación sólo tiene en cuenta el enfriamiento de los espacios verdes y no el enfriamiento potencial que ofrecen otras formas de infraestructura verde, como son los techos y paredes verdes y las hileras de árboles en las calles.

Otras características de los espacios verdes que influyen en su eficacia de enfriamiento son su forma y densidad, los tipos de árboles, arbustos y la cobertura del suelo, presentes en el espacio verde, la disposición de la planta, el porcentaje de área impermeable y la topografía. El papel exacto de cada uno de estos factores en los climas templados aún no están claros. Por ejemplo, un aumento en la relación entre el perímetro y el área de un espacio verde, aumenta el efecto de borde, y la complejidad de su forma reduce la intensidad del enfriamiento medida durante la iluminación nocturna. Esta relación también parece funcionar durante el día, pero sólo para espacios verdes con áreas de >6 ha. Además, un aumento en la densidad de árboles dentro del espacio verde normalmente conduce a más enfriamiento durante el día, pero por la noche, las densas copas de los árboles, con calor almacenado durante el día, pueden dificultar la disipación del calor y la pérdida de radiación de onda larga. Sin embargo, el efecto negativo

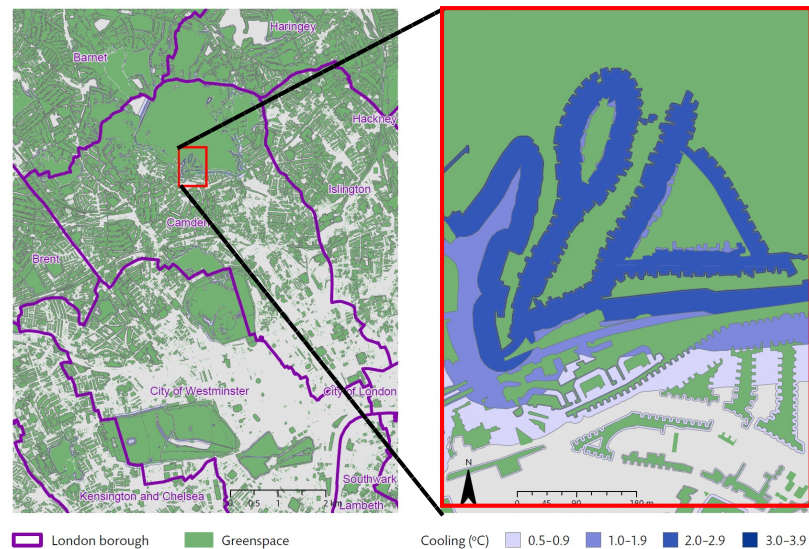


Figura 8. Variación espacial del enfriamiento de la temperatura del aire nocturno proporcionado por los espacios verdes (que incluyen áreas predominantemente cubiertas de césped), y vegetación baja o con >30% de cobertura arbórea, según lo definido por UKMap) en el distrito londinense de Camden, según el modelo desarrollado por Vaz Monteiro, Handley y Doick (2017).

de los árboles durante la noche se puede minimizar mediante una colocación cuidadosa del árbol. Por ejemplo, en un ensayo se utilizaron modelos a escala para examinar el enfriamiento nocturno potencial de cuatro parques con diferentes disposiciones de los árboles:

- 1) un parque con césped y sin árboles;
- 2) un parque tipo sabana con árboles dispersos;
- 3) un parque rodeado de árboles; y
- 4) un jardín parque con grupos de árboles y parches abiertos.

De este modo, se encontró que, respecto a modelo de parque sin árboles, todos los modelos de parques con árboles tenían el potencial de ser más fresco al atardecer, pero no a altas horas de la noche. Sin embargo, el estudio no aclaró qué diseño ofrecía la mayor cantidad de enfriamiento nocturno y tal modelo de espaciamiento entre árboles aún no se han investigado adecuadamente en las condiciones de vida real.

La Figura 9 resume el conocimiento actual sobre las estrategias de diseño que se pueden implementar para garantizar la máxima refrigeración desde espacios verdes urbanos. No obstante se requiere una mayor investigación sobre algunas de las estrategias descritas en la Figura 9 para proporcionar información detallada o especificación cuantitativa.

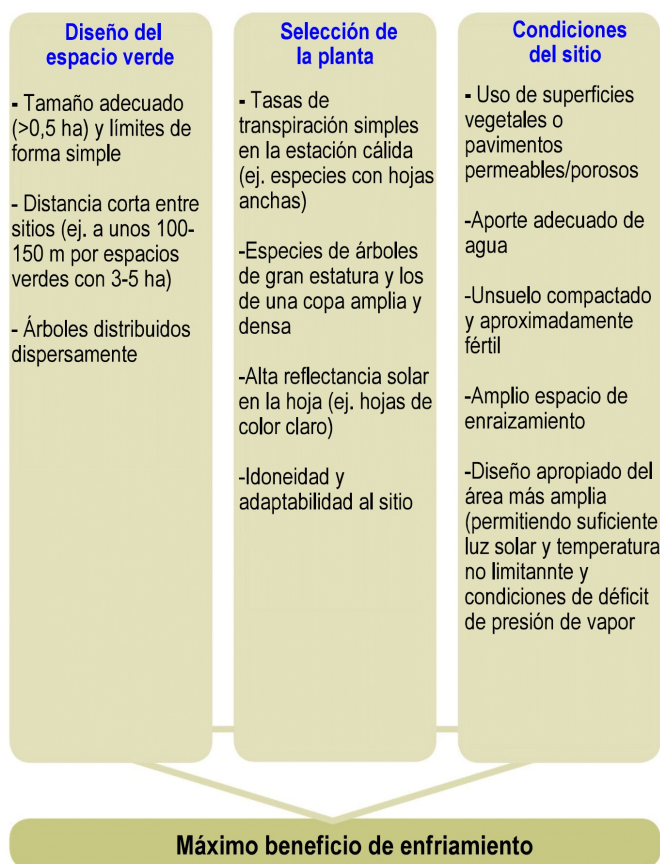


Figura 9. Conocimiento actual de las estrategias de diseño que pueden conducir a Máximo espacio verde y enfriamiento de árboles.

1. Sólo está disponible información de orientación.
2. Ver también Factores que afectan la eficacia de enfriamiento de los árboles urbanos (página 5).
3. Específico de cada especie: en términos de árboles, es importante elegir "el árbol adecuado para el lugar correcto". Las herramientas de selección de especies están disponibles en línea
4. Véase también Lograr un enfriamiento eficaz a partir de la vegetación urbana (página 7).

b.-Características del árbol

Otro factor que influye en el papel termorregulador del bosque urbano es el de las características de cada árbol. Las especies de árboles tienen diferentes características inherentes que controlan su crecimiento, forma, fisiología y propiedades radiativas, responsables de que algunas especies tengan un mayor potencial para proporcionar enfriamiento que otros. Al respecto, se ha investigado la capacidad de enfriamiento de árboles urbanos comúnmente plantados en los subtrópicos y se ha encontrado que las características que tuvieron la mayor contribución para reducir las temperaturas del aire bajo la copa durante el día fueron (en orden de importancia decreciente): el color de la hoja, el índice de área foliar (LAI), el espesor de hoja y la rugosidad de hoja. Lamentablemente se ha recopilado muy poca evidencia sobre la importancia relativa de las características de diferentes árboles en su capacidad de refrigeración en las regiones templadas.

-El color de la hoja y la rugosidad (a menudo dictado por la presencia o ausencia de pelos o de características de cera en la superficie de la hoja) puede influir en la temperatura de la hoja y del aire a través de su efecto sobre la habilidad para reflejar la radiación. La rugosidad, la forma y el tamaño de la hoja pueden influir aún más en su suministro de agua y transferencia de energía. Modificando el equilibrio entre la pérdida de calor sensible y evapotranspiración, estos atributos de las hojas pueden impactar en la cantidad de refrigeración proporcionada al aire. Por ejemplo, las hojas lobuladas y seccionadas como las de muchas especies de robles y arces tienen una capa límite foliar (i.e. la capa de aire quieto contigua a la superficie de la hoja) más delgada que las hojas de forma simple y tamaño similar. Una capa límite más delgada produce más transferencia efectiva de calor y vapor de agua de la hoja al aire. Hojas pequeñas como las de las coníferas también son eficaces para perder calor y vapor de agua. En comparación, las especies con hojas grandes tienden a calentarse más, pero a menudo tienen poros estomáticos más grandes, más numerosos y más abiertos, que permiten una mayor pérdida de calor latente cuando hay agua disponible.

-Estacionalidad de la capacidad de enfriamiento. Otras características que controlan no sólo la cantidad sino también la estacionalidad de la capacidad de enfriamiento por evapotranspiración de un árbol son la tolerancia a la sequía, el área foliar, el hábito de las hojas y la estructura de la madera. Un estudio que compara la evapotranspiración y la eficiencia en el uso del agua de los árboles de vivero recomendaba sembrar una mayor proporción de especies de hábitats secos con densas copas de los árboles en calles. Estas especies pueden tener tasas de transpiración de las hojas más bajas que los árboles originarios de ambientes húmedos, pero normalmente se adaptan mejor a la sequía y, por lo tanto, pueden ser capaces de transpirar durante más tiempo durante los períodos secos, ofreciendo un mayor enfriamiento.

Por otra parte, los árboles urbanos de hoja caduca y porosidad difusa, como *Tilia* o *Juglans* (donde se encuentran las células para el transporte del agua de manera uniforme a lo largo de la temporada de crecimiento) consumió más agua durante junio y julio que las hojas perennes de coníferas o géneros caducifolios con poros anulares (por ejemplo, *Fraxinus* o *Ulmus* donde las células creadas a principios de la estación son más grandes y pueden transportar más agua que las creadas más tarde). Sin embargo, los autores también observaron que las coníferas tienen una mayor cantidad de transpiración anual por unidad de área de la copa, por lo que estuvieron funcionando activamente durante más tiempo (ocho meses en lugar de cuatro) y tenía un LAI más alto y áreas proyectadas de la copa más pequeñas. La forma general de la copa y la disposición y densidad de las hojas y ramas también influyen en la cantidad de sombra proporcionada, dado que los árboles que tienen una copa amplia y una alta densidad de hojas y las ramas, proyectan una sombra más efectiva.

Varios estudios han investigado un pequeño número de especies de árboles que típicamente se encuentran en ubicaciones urbanas templadas por su capacidad para proporcionar enfriamiento a través de la evapotranspiración y la sombra. Uno estudio realizado en Dresde (Alemania), demostró que los árboles *Corylus colurna* y *Tilia cordata* tienen una mayor potencial de enfriamiento diurno que el *Ginkgo biloba*; y los árboles *Liriodendron tulipifera* y *Ulmus* × *hollandica*, debido a su mayor evapotranspiración potencial y área foliar. Como consecuencia, las temperaturas del aire alrededor de las marquesinas diferían hasta a ~2°C en los días calurosos de verano. Otro estudio realizado en Manchester (Reino Unido), demostró que los jóvenes *Pyrus calleryana* y los árboles de *Crataegus laevigata* pueden proporcionar de tres a cuatro veces más enfriamiento diurno que *Sorbus arnoldiana* y *Prunus 'umineko'* de edad similar, ya sea por su altura, tasas de evapotranspiración o su amplia copa y alto índice foliar LAI. Los árboles también pueden continuar transpirando en las primeras horas de la noche y, por lo tanto, pueden continuar brindando algunos beneficios adicionales de enfriamiento. Esto se demostró en

Gotemburgo (Suecia), donde transpiración nocturna de las hojas de *Tilia × europaea*, *Quercus robur*, *Betula pendula*, *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Fagus sylvatica* y *Prunus serrulata* daban un promedio del 7% del valor registrado durante el día en sus soleadas hojas.

c.-Influencia del lugar

La cantidad de enfriamiento que proporciona un árbol no es sólo una consecuencia de sus características sino también del tipo de pavimento que lo rodea, tipo de suelo, cantidad de agua accesible en el terreno, temperatura del aire local, déficit de presión de vapor y corona de exposición a la radiación (Fig. 9). Los árboles suelen responder a las condiciones de estrés hídrico cerrando sus estomas para reducir la pérdida de agua. Por ejemplo, se ha demostrado que los árboles de *Tilia* que se encuentran en calles o en una plaza pavimentada (con suelos que frecuentemente contienen bajas cantidades de agua) en varias ciudades alemanas, transpiran casi la mitad del agua que los árboles de *Tilia* que se encuentran en un parque o en una plaza con césped. Sin embargo, si los árboles plantados en áreas pavimentadas tienen suficiente acceso al agua, entonces su evapotranspiración puede verse incrementada por el microclima cálido, y será superior al registrado en los árboles plantados en zonas con vegetación. En otro lugar de Estados Unidos, los árboles colocados en asfalto perdieron ~30% más agua (expresada por unidad de área foliar) que aquellos que crecían sobre el pastizales, porque los primeros recibieron más radiación de onda larga desde el asfalto. Sin embargo, la demanda de evapotranspiración creada por las condiciones del microclima puede ser tan alto que puede hacer que los árboles cierren sus estomas y supriman la pérdida de agua, incluso cuando están bien regados.

Los suelos urbanos de mala calidad y el uso generalizado de pavimentos impermeables pueden intensificar aún más el estrés de los árboles en las zonas urbanas y obstaculizar su crecimiento. Las superficies impermeables impiden infiltración de agua al suelo y agua de lluvia directa al red de drenaje superficial, lo que da como resultado una baja disponibilidad de agua en el suelo para las plantas. Además, muchos suelos urbanos están severamente compactados, lo que inhibe tanto la penetración del agua, como la aireación del suelo y, por tanto, expansión de las raíces. También pueden carecer de materia orgánica y nutrientes necesarios para apoyar el crecimiento de las plantas. El tamaño del árbol y el diámetro de su copa generalmente disminuyen en situaciones donde hay un gran porcentaje de zona pavimentada impermeable que rodea un árbol. Sin embargo, las restricciones al crecimiento creadas por el pavimento puede atenuarse si la calidad del medio de siembra es adecuada. Una evaluación de árboles de *Prunus serrulata* y *Ulmus parvifolia* con diferentes medios de enraizamiento, demostraron que los árboles que crecen en suelos no compactados debajo del pavimento eran más grandes, proporcionaban más sombra y parecían más saludables después de 14 meses que los que crecían en hoyos rellenos con *stallite* (un agregado liviano de pizarra expandida).

Lograr un enfriamiento efectivo desde vegetación urbana

Las plantas sanas proporcionan un enfriamiento eficaz; tienen mas hojas que las plantas estresadas y proporcionan más sombra. Sus hojas también son más activas fisiológicamente, por lo que transpira más. Por lo tanto, para maximizar el enfriamiento es necesario proporcionar condiciones de crecimiento que promuevan la buena salud y funcionamiento de las plantas, así como un suministro adecuado de agua (Fig.7). Si es recurrente la baja disponibilidad de agua, las plantas pueden tener un crecimiento reducido, pueden perder algunas o todas sus hojas o incluso morir. Los requerimientos de agua vegetal probablemente son probables que aumenten en las zonas urbanas debido a las temperaturas más altas del aire, los déficits de presión de vapor y cargas de radiación. Por ejemplo, se

ha registrado un 7% aumento de la demanda de evapotranspiración en el centro de urbano de Madison (USA), en comparación con las zonas circundantes no urbanas.

Con proyecciones de cambio climático que indican un aumento de la temperatura del aire y una reducción de las precipitaciones en el verano en climas templados, es probable que el suministro de agua para las plantas urbanas en esta región sea un factor limitante. Nuevos enfoques del diseño urbano, como los incorporados a sistemas de drenaje sostenibles (SuDS), pueden facilitar la recarga de agua al suelo y a la vegetación, así como ofrecer soluciones rentables para el alivio de las aguas pluviales. Estos sistemas incluyen el uso de jardines de lluvia, humedales, bioswales (canales de drenaje con vegetación junto a carreteras), techos verdes, muros verdes y zonas sin vegetación. medios para capturar aguas pluviales (por ejemplo, tanques de agua, cuerpos de agua, acuíferos subterráneos).

El uso de pavimento permeable o pavimentos porosos y hoyos apropiados para plantar árboles de gran tamaño también pueden aumentar el volumen de agua que llega al suelo (Fig. 9). El tamaño del alcorque requerido es proporcional a la proyección de la copa del árbol maduro y hay información disponible para ayudar a guiar el diseño del pozo. Técnicas como la reconstrucción del perfil del suelo, aumentan la calidad y la capacidad de retención de agua. También se deben seguir los suelos urbanos en los sitios de plantación, ya que pueden acelerar considerablemente el establecimiento y crecimiento de las plantas y reducir la necesidad de riego adicional. Una orientación sobre la regeneración del suelo en terrenos abandonados urbanos para una futura creación de espacios verdes recomienda un mínimo de del 10% de contenido de materia para soportar la retención de humedad del suelo. Sin embargo, las preferencias de suelo de las especies varían y el medio de la plantación debe adaptarse a la especie elegida. Para obtener consejos sobre la selección el árbol correcto para el lugar correcto consulte el manual de árboles urbanos.

Además, aumentar la cobertura verde en ciudades y pueblos puede ayudar a mejorar las restrictivas condiciones microclimáticas urbanas que puede causar estrés hídrico incluso cuando hay agua disponible y el sitio de plantación es apropiado y, a su vez, mejorar la condición de la vegetación existente. Esto ayudará a maximizar su capacidad para proporcionar refrigeración, ayudando aún más a mejorar el confort térmico de los ciudadanos urbanos y reducir el efecto de la ICU.

Aplicaciones prácticas en el urbanismo

En algunos países, los beneficios de refrigeración de la **infraestructura verde** están empezando a ser reconocidos en los círculos de investigación y por varias organizaciones medioambientales, organismos gubernamentales y asociaciones profesionales. Sin embargo, gran parte de la información recopilada no llega a la política de planificación y desarrollo de infraestructura verde. Las principales razones de la brecha. entre investigación, práctica y política estaban vinculados a:

- 1.- Una sobrecarga de información, lo que resulta en que los profesionales y los formuladores de políticas no pueden acceder a él y/o comprenderlo;
- 2.- Falta de diálogo entre investigadores, profesionales y responsables políticos; y
- 3.- Falta de justificación financiera para inversión en infraestructura verde.

Incluso si se gestionan estos problemas, los beneficios de la maximización del enfriamiento no llegan a considerarse una prioridad en el diseño y gestión de infraestructuras verde. Por ejemplo, cuando se les preguntó sobre su razones para invertir en infraestructura verdes, las autoridades locales mencionaron

más beneficiosos frecuentemente vinculados a la gestión del agua, el valor de amenidad o la purificación del aire que la reducción de calor.

Pero se empieza a reconocer que las altas temperaturas del aire son un importante factor de riesgo potencial para la salud humana. Las proyecciones advierten que el número de muertes relacionadas con el estrés por calor en países europeos podría ser mayor más del doble para mediados de siglo desde una base de ~2000 si no se toman medidas para reducir el sobrecalentamiento de los edificios y el efecto ICU. Además, la información sobre la beneficios y compensaciones de diferentes pavimentos permeables está empezando a llegar a los profesionales y estas tecnologías y prácticas no se están adoptando específicamente para maximizar la efectividad de enfriamiento de las plantas, las mejorarán.

Cuantificación y valoración del beneficio de enfriamiento

La cuantificación precisa del enfriamiento por la vegetación urbana (por sí sola o o integrada en espacios verdes) es difícil de lograr ya que depende no sólo de la forma y funcionamiento en que las plantas crecen, sino también por las condiciones climáticas locales, la calidad suelos, y el diseño y características del entorno. Sin embargo, se están desarrollando modelos para estimar la refrigeración y/o previsión de refrigeración adicional proporcionada a través de un aumento de la cobertura verde, con o sin árboles. Por ejemplo, en un espacio verde londinense se estimó que ofrecía un enfriamiento de la temperatura del aire de $>0,5^{\circ}\text{C}$ en noches claras, tranquilas y cálidas a una superficie edificada de 39.725 ha que rodea a los espacios verdes, lo que equivale al 23% de Área de Londres. Además, un aumento del 20% de cobertura verde en la región de Glasgow, proyectada para ser capaz de reducir futuros promedios de temperatura del aire en verano en $0,3^{\circ}\text{C}$, un tercio de la ICU adicional esperada para el área en 2050 bajo las proyecciones actuales por el cambio climático.

Algunos estudios, particularmente en los EE.UU., han colocado un valor del beneficio de refrigeración logrado por la vegetación del sistema urbano. A escala local, gracias a los árboles las fachadas oeste y sur de 460 edificios en Sacramento, California se estimó que cada hogar ahorra un promedio de \$25 de uso de electricidad en verano debido al efecto de sombra. A escala regional, se predijo que los árboles conducirían a un ahorro neto anual de energía (refrigeración y calefacción) de 101 millones de dólares. A escala nacional, urbano, se estima que los bosques comunitarios en los EE. UU. ahorraron \$7,8 mil millones en costos de energía por año, \$4,7 mil millones de los cuales provinieron de reducción del uso de electricidad. En otro lugar, este enfriamiento causado por los árboles

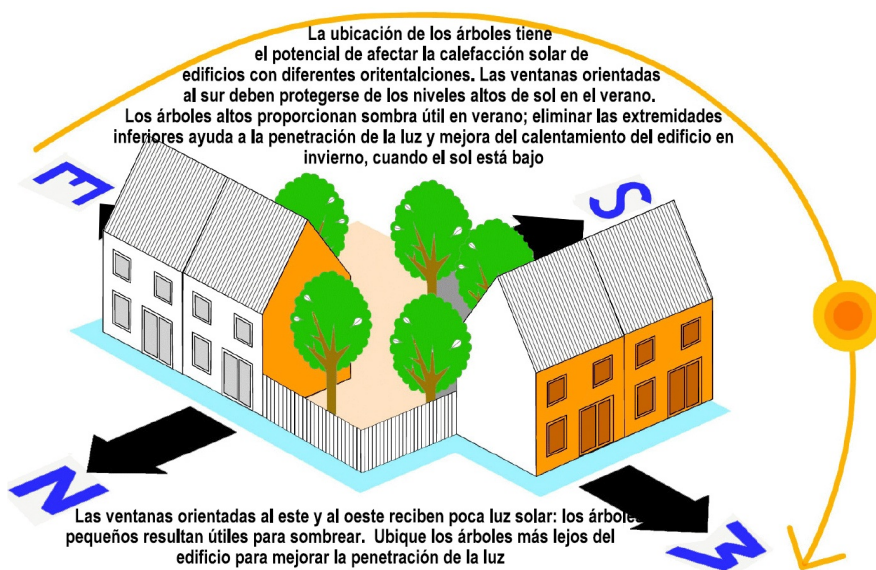


Fig.10. Efecto termorregulador del arbolado en las fachadas de edificios

urbanos se predijo que lograban un ahorro de hasta £22 millones en consumo anual de energía sólo en el interior de Londres. En este mismo país, el Consejo Nacional de Construcción de Viviendas del Reino Unido ofrece orientación práctica sobre la colocación de árboles para reducir el calentamiento de fachadas de los edificios por la energía solar (Fig.10). Estos ahorros financieros potenciales, añadidos al valor económico de otros beneficios proporcionados por la infraestructura verde más amplia (como la reducción de la contaminación del aire, la gestión de inundaciones y secuestro de carbono) puede compensar, o incluso superar, los costos asociados a su expansión y gestión. Implementación de un análisis de costo-beneficio es, por lo tanto, un medio eficaz para justificar inversión.

Conclusiones

Las ciudades frecuentemente demuestran un promedio de temperaturas más alto que las zonas rurales circundantes, el llamado efecto "isla de calor urbano" (ICU). La intensidad de la ICU varía en una ciudad y con el tiempo y puede alcanzar los 9°C en algunas ciudades. Las proyecciones de cambio climático indican que un aumento de las temperaturas y un aumento en la ocurrencia e intensidad de eventos de calor extremo exacerbará la ICU. Períodos prolongados de altas temperaturas pueden tener efectos profundos en la salud humana y se necesita adaptación a las ICU para planificar, a corto y medio plazo y cambios a más largo plazo. Hay pruebas convincentes de que Los árboles, los espacios verdes urbanos y una infraestructura verde más amplia proporcionan reducciones significativas en las temperaturas urbanas y pueden ayudar evitar pérdidas innecesarias de vidas durante las olas de calor.

Los planificadores y desarrolladores pueden ayudar a combatir las ICU y aumentar la resiliencia urbana a los impactos del cambio climático mediante aprovechamiento máximo de las oportunidades que se ofrecen a través de reurbanizaciones, para ecologizar el entorno urbano, dando prioridad a la plantación de árboles de copa amplia, cerca de edificios, colocados al oeste, suroeste o sur de los edificios para mitigar el impacto localizado de la ICU en ciudades europeas.

La infraestructura verde puede desempeñar un papel importante en la reducción de la temperatura del aire urbano, atenuando sus impacto negativo en el confort térmico y la salud humana. Para que esto suceda, es importante diseñar nuevos espacios verdes y gestionar los establecidos de manera que maximicen el enfriamiento. El conocimiento de las propiedades refrescantes de los espacios verdes urbanos y los árboles urbanos aislados en climas templados han avanzado considerablemente en los últimos años:

- Los espacios verdes >0,5 ha pueden enfriar la temperatura del aire local.
- La refrigeración en toda una zona urbana requiere que los espacios verdes estén muy cerca, ya que el enfriamiento disminuye con distancia del espacio verde. Por ejemplo, la modelización sugiere que, en áreas urbanas templadas, los espacios verdes de 3 a 5 ha necesitan que sean situados a una distancia de entre 100 y 150 m.
- Los espacios verdes deben tener árboles, pero se requiere prestar cuidado en el colocación de árboles, ya que las copas densas e ininterrumpidas pueden bloquear la disipación de calor y la pérdida de radiación de onda larga por la noche, anulando así su potencial refrigerador.
- Algunos árboles son mejores para enfriar el ambiente que otros, no sólo por las características inherentes a su especie, sino también su forma y tamaño. Los árboles con típicas altas tasas de

transpiración, alta reflectividad, y con copas más densas y más anchas, reducen las temperaturas de los alrededores más que otros árboles, siempre que estén sanos y tengan suficiente espacio, agua del suelo y recursos de nutrientes para mantener su crecimiento.

- El ambiente aéreo y del suelo del árbol es tan importante como el árbol mismo para determinar la cantidad de enfriamiento que será capaz de proporcionar. No solo es importante elegir el árbol adecuado para el lugar adecuado, sino también que reúna "las condiciones adecuadas para el árbol adecuado". Las nuevas plantaciones deben combinarse con estrategias innovadoras que conduzcan a una mayor disponibilidad de agua para la arboleda y la mejora de suelos y pavimentos urbanos para las raíces circundantes.

Hay más por descubrir sobre el diseño óptimo de espacios verdes y colocación de árboles para lograr el máximo enfriamiento, y la capacidad de enfriamiento de diferentes especies de árboles. A pesar de estudios recientes, todavía falta hacer una comparación del potencial de enfriamiento diurno de una amplia gama de especies de árboles comúnmente plantadas en entornos urbanos templados, y los mecanismos a través de los cuales proporcionan enfriamiento. Además, el impacto que las limitaciones del medio ambiente local pueden tener sobre la efectividad de enfriamiento de una especie en particular requiere más investigación de forma que la planificación y desarrollo de la infraestructura verde pueda ser óptima. De cara al futuro, también se debería centrar la atención en mejorar intercambio de conocimientos entre investigadores, profesionales y formuladores de políticas, dirigiendo nuevas investigaciones hacia la mejora de los métodos para justificar la inversión en infraestructura verde.