

Enviado: 22-10-2015  
Aceptado: 25-11-2015

# INCIDENCIA DE LA SELECCIÓN DE LA ESPECIE FORESTAL EN EL CONFORT TÉRMICO DE CAÑONES URBANOS DE ZONAS ÁRIDAS:

## EL CASO DE MENDOZA, ARGENTINA

THE IMPACT OF TREE SPECIES SELECTION ON THE THERMAL  
COMFORT OF URBAN CANYONS IN ARID ZONES: THE CASE OF  
MENDOZA, ARGENTINA

MARÍA ANGÉLICA RUIZ <sup>1</sup>  
ERICA NORMA CORREA CANTALOUBE <sup>2</sup>  
MARÍA ALICIA CANTÓN <sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT CONICET Mendoza,  
Mendoza, Argentina  
aruiz@mendoza-conicet.gob.ar
- <sup>2</sup> Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT CONICET Mendoza,  
Mendoza, Argentina  
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar
- <sup>3</sup> Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT CONICET Mendoza,  
Mendoza, Argentina  
macanton@mendoza-conicet.gob.ar

El incremento de vegetación urbana es una estrategia de mitigación de la isla de calor reconocida a nivel mundial. Este trabajo evalúa cómo el balance energético de un cañón urbano es afectado por combinaciones de la morfología de la trama urbana, la fisonomía forestal y la densidad de edificación del entorno construido. Se monitoreó el comportamiento térmico de verano de 16 cañones urbanos de 16, 20 y 30 m de ancho, localizados en alta y baja densidad de edificación, y forestados con tres especies predominantes en la ciudad, así como también uno de los casos sin forestar. Para evaluar el grado de habitabilidad de los espacios abiertos se utilizó el balance energético COMFA. Los resultados muestran que la adecuada selección de la especie forestal es clave para maximizar la eficiencia energética y la habitabilidad de los espacios urbanos en las áreas de baja densidad de edificación presentes en la ciudad.

**Keywords:** Balance energético; confort térmico; cañones urbanos forestados; especies forestales; zona árida.

Increasing urban vegetation is known worldwide to be a strategy for mitigating urban heat islands. This study evaluates how the energy balance of an urban canyon is affected by different combinations of urban morphology, tree species features, and building density. The thermal behaviors of 16 urban canyons, 16, 20 and 30m in width, located in areas of high and low building density, with three predominant types of tree species in the city were monitored in summer, in addition to one tree-free case. The COMFA energy balance model was used to assess the degree of habitability of open spaces. The results show that the appropriate selection of tree species is the key to maximizing the energy efficiency and habitability of urban spaces in areas of low building density in the city.

**Keywords:** energy balance, thermal comfort, tree-lined urban canyons, tree species, arid zone

## INTRODUCCIÓN

El efecto conocido como isla de calor urbana (ICU) produce mayores temperaturas del aire en el centro de las ciudades en relación a las áreas rurales circundantes. El incremento de la temperatura urbana modifica los patrones de consumo de energía tanto en verano como en invierno. En el caso del verano, se incrementa la demanda eléctrica y los problemas de polución; en invierno aunque produce una disminución de consumo para calefacción, sus efectos sobre la calidad del aire y la salud de los habitantes urbanos, empañan esta ventaja. Estudios llevados a cabo en la última década que correlacionan el consumo de energía con el efecto de isla de calor han observado que para ciudades con más de 100.000 habitantes los consumos de energía en las horas pico se incrementan 1,5 a 2 % por cada grado Celsius que se incrementa la temperatura exterior (Akbari et al., 1992; Sailor y Muñoz, 1997). Además, las altas temperaturas urbanas extienden la huella ecológica, afectan el confort térmico y causan problemas de salud en sus habitantes (Santamouris et al., 2007; Stathopoulou et al., 2008). Asimismo, la eficiencia de los sistemas de acondicionamiento del aire disminuye con el aumento de la temperatura exterior: por cada 1°C de aumento de la temperatura exterior, se gasta un 8% más de energía (Gobierno de España, 2007).

En este marco, el incremento de la vegetación urbana se ha convertido en una estrategia ineludible para la consecución del desarrollo sustentable (Solecki et al., 2005; Rizwan, Denis y Liu, 2008). Durante las últimas décadas se ha incrementado el conocimiento de los efectos beneficiosos que tiene la vegetación sobre las condiciones ambientales de las ciudades. El listado de estos beneficios es extenso: la disminución del efecto de isla de calor y el acondicionamiento térmico de la edificación con el consecuente impacto en los consumos de energía; y el incremento de la humedad en el ambiente en ciudades de climas áridos (Rosenfeld et al., 1998; Santamouris, 2001). También se enumera la reducción de los efectos del calentamiento global y de la contaminación atmosférica; la absorción de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono, y la liberación de oxígeno; el filtrado de partículas en suspensión y la absorción de ruido por el follaje de los árboles. Sumado a estos beneficios, igualmente se incluye el incremento de las condiciones de confort en los espacios públicos durante las estaciones cálidas y, finalmente, la provisión de espacios para uso recreativo y un aporte significativo a la estética urbana (McPherson, 1998; Blanc, 2008; Wong et al., 2009).

Estudios previos han demostrado que la reducción del consumo energético por parte de la vegetación puede variar entre un 35 y un 95 % (Alexandri y Jones, 2008). Esta variabilidad y el hecho de que la forestación urbana tiene costos económicos y ambientales asociados hacen pertinente que se ponga atención no sólo en los beneficios del verde urbano sino también en los recursos utilizados para su gestión y mantenimiento. La plantación, la poda, el riego, las curaciones y el replante, así

como también el uso de recursos naturales, en especial el consumo de agua en zonas áridas (Nowak, Crane y Dwyer, 2002), son costos que deben ser reconocidos para desarrollar planes óptimos de manejo forestal urbano. Con una apropiada planeación, diseño y manejo, los árboles urbanos pueden proveer un amplio rango de importantes beneficios para la sociedad. Sin embargo, si un buen manejo puede acrecentar los beneficios, un manejo inapropiado puede reducir beneficios e incrementar costos.

De modo particular, en zonas de climas áridos, los modelos de ciudad se centran en el aprovisionamiento de sombras a los fines de disminuir la exposición solar del conjunto y reducir la acumulación de calor sobre las superficies duras de la ciudad. Este objetivo da lugar a desarrollos urbanos del tipo compacto, conformados por calles estrechas y edificios entrelazados mediante patios de pequeñas dimensiones.

El caso del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina (AMM), también inserta en un contexto árido, difiere del modelo descrito previamente. La ciudad de Mendoza está situada al pie de los Andes, posee un clima árido continental mesotermal, con elevadas oscilaciones diurnas y anuales de la temperatura; fuerte radiación solar en verano y nubosidad moderada distribuida uniformemente a lo largo del año. Veranos calurosos y secos, e inviernos fríos y más húmedos, con baja frecuencia e intensidad de viento. La ciudad es un conglomerado urbano próximo al millón de habitantes Su estructura urbana es del tipo abierta y resulta de la superposición de tres tramas: urbana, edilicia y forestal. La trama urbana se caracteriza por la estructura de manzanas en damero y calles anchas de 16 m (25%), 20 m (75%) y 30 m (5%). Respecto a la trama edilicia, las distintas tipologías arquitectónicas estructuran una ciudad discontinua, donde se entremezclan las altas, medias y bajas densidades edilicias. Por último, la trama verde está conformada por parques, plazas y arbolado de alineación que bordea los límites de las manzanas urbanas lo que la define como "ciudad oasis" (Bórmida, 1984; Bochaca, 2005). Desde el punto de vista microclimático, la sombra arrojada por la copa de los árboles sobre el espacio urbano constituye una estrategia bioclimática para su acondicionamiento térmico y en consecuencia la sustentabilidad del modelo se apoya en la presencia del verde urbano.

En Mendoza, el fenómeno de isla de calor urbana se verifica en todas las estaciones del año, siendo que la ocurrencia de las máximas temperaturas se da generalmente durante el período de enfriamiento nocturno. Las intensidades máximas de isla de calor oscilan entre los 8 y 10 °C (Correa, De Rosa y Lesino, 2006).

En investigaciones anteriores (Autor et al., 2012; Autor, 2013) se ha corroborado que la vegetación brinda distintos grados de beneficios según cómo se combine con la morfología urbana y la densidad de edificación.

ANCHO DEL CAÑÓN URBANO	DENSIDAD DE EDIFICACIÓN	FISONOMÍA FORESTAL			
		Primera magnitud	Desarrollo abierto	Desarrollo compacto	Sin árboles
16 m	Alta	CU 1 (AD 16 P) SVF=0,11	-	CU 12 (AD 16 F) SVF=0,30	-
	Baja	CU 2 (BD 16 P) SVF=0,31	CU 7 (BD 16 M) SVF=0,55	CU 13 (BD 16 F) SVF=0,34	-
20 m	Alta	CU 3 (AD 20 P) SVF=0,31	CU 8 (AD 20 M) SVF=0,41	-	CU 16 (AD 20 S/A) SVF=0,55
	Baja	CU 4 (BD 20 P) SVF=0,11	CU 9 (BD 20 M) SVF=0,46	CU 14 (BD 20 F) SVF=0,44	-
30 m	Alta	CU 5 (AD 30 P) SVF=0,28	CU 10 (AD 30 M) SVF=0,33	-	-
	Baja	CU 6 (BD 30 P) SVF=0,43	CU 11 (BD 30 M) SVF=0,62	CU 15 (BD 30 F) SVF=0,75	-



Figura 1 Casos de estudio según ancho de cañón urbano, densidad de edificación, fisonomía forestal, factor de visión de cielo (SVF) y ubicación. Fuente: Elaboración propia.

Este trabajo evalúa cómo el balance térmico de un cañón urbano (CU), es decir la relación entre la energía que ingresa y la que abandona el mismo, es afectado por distintas combinaciones de morfología de la trama urbana, fisonomía de las especies forestales y densidad de edificación del entorno construido. El objetivo final es detectar combinaciones eficientes de éstas variables que nos permitan configurar cañones urbanos, térmicamente eficientes. Esto es, que mejoren las condiciones de confort exterior de los espacios, disminuyan el consumo de energía de los edificios conexos mediante la reducción de las temperaturas urbanas y mitiguen la isla de calor, a fin de contribuir a la sustentabilidad del desarrollo de la ciudad.

## MÉTODOS

### Casos de estudio

Las especies forestales predominantes en el arbolado de alineación de la ciudad de Mendoza pueden clasificarse en tres grupos según su fisonomía vegetal:

**En primer lugar**, las especies forestales de primera magnitud (altura final mayor a 15 m) poseen un desarrollo de copa significativo, lo que permite obtener buenas condiciones de sombra, ya que la superposición de copas —lateral y frontal— genera un túnel continuo a lo largo del cañón urbano. Sin embargo producen un incremento de la rugosidad de la trama y una disminución del factor de visión de cielo que disminuye la posibilidades de enfriamiento convectivo y radiativo, con consecuencias negativas respecto del refrescamiento de los

espacios (Correa, Martínez y Cantón, 2008). La especie emblema de la primera magnitud en la ciudad de estudio es *Platanus hispanica*.

**En segundo lugar**, la forestación con especies de segunda magnitud (altura final entre 10 y 15 m) y desarrollo abierto de la copa, conforma una bóveda sobre el cañón urbano que suministra sombra a los espacios peatonales y disminuye (en menor medida que las especies de primera magnitud) el factor de visión de cielo que gobierna los procesos de enfriamiento radiativo, pero dado la densidad de su follaje incrementa la rugosidad del terreno perjudicando el enfriamiento convectivo. Dentro del grupo de desarrollo abierto se encuentra *Morus alba*.

**Y por último**, la forestación con especies de segunda magnitud y desarrollo compacto de la copa, representa el mínimo impacto tanto sobre los intercambios radiativos nocturnos como sobre la rugosidad del terreno, pero poseen la desventaja de ofrecer una menor distribución de sombra. *Fraxinus excelsior* es la especie típica del grupo de desarrollo compacto.

Para cuantificar las ventajas y desventajas de la selección de una determinada especie –fisonomía– para la forestación de un cañón urbano en relación a otras características de la trama de la ciudad; se evaluó el comportamiento térmico de verano de 16 cañones urbanos (con orientación E-O), de 16, 20 y 30 m de ancho, localizados en alta y baja densidad de edificación, y forestados con estos tres tipos de fisonomías predominantes en la ciudad, así como también uno de los casos sin forestar (Figura 1).

## MONITORIZACIÓN, BALANCE DE ENERGÍA Y CONFORT TÉRMICO

Los casos de estudio seleccionados han sido monitorizados microclimáticamente mediante estaciones meteorológicas marca HOBO®, modelo H21-001 (Autor y Autor, 2015) durante el periodo de calentamiento (de 9:00 a 20:00 hs) desde mediados de diciembre de 2009 hasta febrero de 2010 (verano austral) pues es la condición más rigurosa en cuanto al confort térmico, la habitabilidad de los espacios y el consumo de energía para acondicionamiento interior. Si bien el fenómeno de isla de calor, en la ciudad de Mendoza es un fenómeno nocturno, estudios previos (Autor et al., 2012) muestran que durante la noche la mayoría de los cañones urbanos de la ciudad se encuentran en confort durante más del 70% del periodo denominado de enfriamiento (de 20:00 a 8:00 hs).

Las variables medidas fueron, temperatura y humedad relativa del aire, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, radiación solar, temperatura de globo y temperatura superficial –obtenida mediante pistola IR marca Fluke 66-. Con el objeto de reflejar el comportamiento térmico de todo el cañón urbano, las estaciones se movieron en sentido horario, pasando por 6 puntos equidistantes contenidos dentro del cañón, tres correspondientes a la fachada norte y tres a la sur, cada 15 minutos. Los datos obtenidos mediante el monitoreo de los espacios han sido procesados y evaluados estadísticamente a fin de presentar los resultados medios por hora para cada caso estudiado.

Para evaluar el grado de habitabilidad de los espacios abiertos, se ha utilizado el modelo Comfort Formula (COMFA) (Brown y Gillespie, 1995). La Ecuación 1 muestra el balance en el cual se basa el método COMFA para medir el nivel de confort de una persona en un determinado espacio y la escala de graduación del mismo (Scudo, 2002; Gaitani, Mihalakakou y Santamouris, 2007):

$$S = M + R_{abs} - Conv - Evap - TR_{emitida}$$

Donde:

- S – balance de energía de una persona en un ambiente abierto
- M – energía metabólica producida por el organismo
- Rabs – radiación solar y terrestre absorbida
- Conv – calor sensible perdido o ganado por convección
- Evap – pérdida evaporativa de calor
- TRemitida – radiación terrestre emitida

Balance (W/m2)		Sensación
Menor a	- 150	La gente preferiría estar mucho más cálida
Entre	-150 y -50	La gente preferiría estar más cálida
Entre	- 50 y 50	La gente preferiría no cambiar de estado
Entre	50 y150	La gente preferiría estar más fresca
Mayor a	150	La gente preferiría estar mucho más fresca

**Tabla 1** La sensación de confort térmico relacionada con los valores del balance de energía. Fuente: Brown y Gillespie (1995).

Este modelo relaciona el balance de energía de una persona en un ambiente abierto con la sensación de confort térmico humano (Tabla 1). Cuando el balance de energía es cercano a cero, puede esperarse que una persona se sienta térmicamente confortable. Si el balance presenta un gran valor positivo, la persona recibe más energía que la que pierde, por lo que podría haber sobrecalentamiento y no se sentiría en confort como consecuencia del calor.

Los valores de permeabilidad a la radiación solar para la especie arbórea estudiada fueron tomados de investigaciones previas (Cantón et al., 1993). El factor de visión del cielo (o SVF por sus siglas en inglés) del cañón urbano fue calculado a partir de imágenes digitales hemisféricas, tomadas usando una cámara digital Nikon CoolPix equipada con un lente ojo de pez. Procesadas mediante el software PIXEL DE CIELO desarrollado por nuestra unidad (Correa et al., 2005), el cual permite obtener el valor del parámetro (SVF), en condiciones de cielo despejado, forestación urbana intensa y ciudades con alta reflectividad típica en regiones semiáridas como es el caso de este estudio. El método COMFA es un método objetivo para medir el nivel de confort. Los autores han probado previamente la capacidad predictiva de este índice versus otros índices objetivos de amplia difusión para el caso de la ciudad en estudio (Autor y Autor, 2014). A pesar de que se ha avanzado sobre modelos subjetivos de predicción (Autor y Autor, 2015), en el presente trabajo se ha optado por modelos objetivos ya que permiten discriminar el aporte de cada una de las configuraciones analizadas a los diferentes intercambios de energía que tienen lugar en el cañón urbano.

## RESULTADOS

A continuación se discuten los comportamientos observados para los casos de estudio en baja y en alta densidad de construcción.

### ANÁLISIS DE LOS CASOS DE BAJA DENSIDAD DE EDIFICACIÓN

La Figura 2 muestra el balance de energía a lo largo del periodo evaluado para los cañones urbanos de baja densidad edilicia. También se puede observar la sensación de confort percibida.

Las configuraciones que demuestran mejor desempeño de acuerdo a sus niveles de confort son aquellos cañones urbanos de 16 m forestados con especies de primera magnitud y con especies de segunda magnitud de desarrollo compacto. Es notorio que las estructuras que presentan mejor desempeño se encuentran en los extremos de las propuestas morfológicas (la más cerrada y la más abierta). Para las especies de segunda magnitud y desarrollo abierto, se observa que aunque ofrecen buena condición de sombra, las características de desarrollo de su copa a menor altura que la primera magnitud y su mayor densidad foliar incrementarían la rugosidad del terreno disminuyendo las posibilidades de refrescamiento convectivo. Para el caso de los cañones urbanos de 20 m, el impacto de la mayor exposición a la radiación solar sobre el balance de energía se hace más notorio con el crecimiento del ancho de cañón, y en este caso las forestaciones con especies de primera magnitud y con especies de segunda magnitud y desarrollo abierto muestran mejor comportamiento.

Para el caso de los cañones de 30 m en la baja densidad de edificación es claro que el mejor funcionamiento está asociado a la mejor condición de sombra siendo la configuración de primera magnitud la de mejor desempeño. Al mismo tiempo, este esquema forestado con especies de desarrollo compacto ofrece un desempeño térmico con un alto grado de disconformidad térmica.

Si analizamos el impacto de los distintos flujos de energía en el balance térmico en los casos de baja densidad de edificación, los resultados corroboran lo dicho precedentemente (Figura 3). Se observa que en todos los casos evaluados, el componente del balance energético que predomina es el de la radiación absorbida por la persona con porcentajes que rondan los 31-34 %. Luego le sigue un 28-32 % de radiación emitida por la persona. Ambos flujos son dependientes del factor de visión de cielo y de las propiedades ópticas y térmicas de los materiales que componen las envolventes urbanas pues las mismas determinan la temperatura superficial del entorno que rodea al

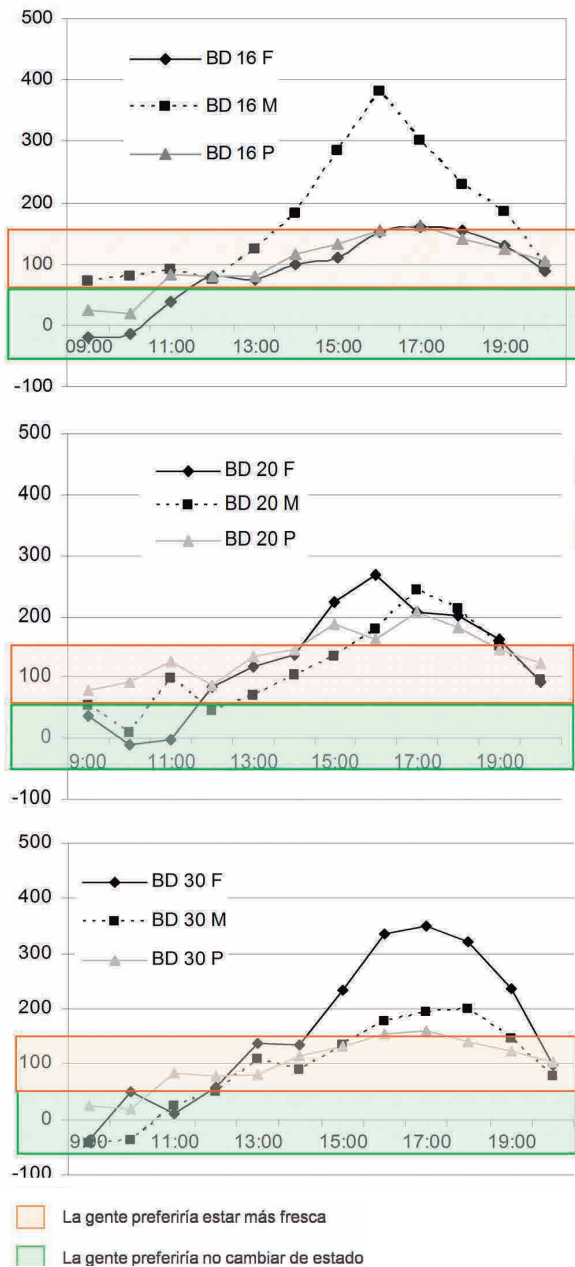


Figura 2 Balance de energía en los cañones urbanos de baja densidad de edificación. Fuente: Elaboración propia.



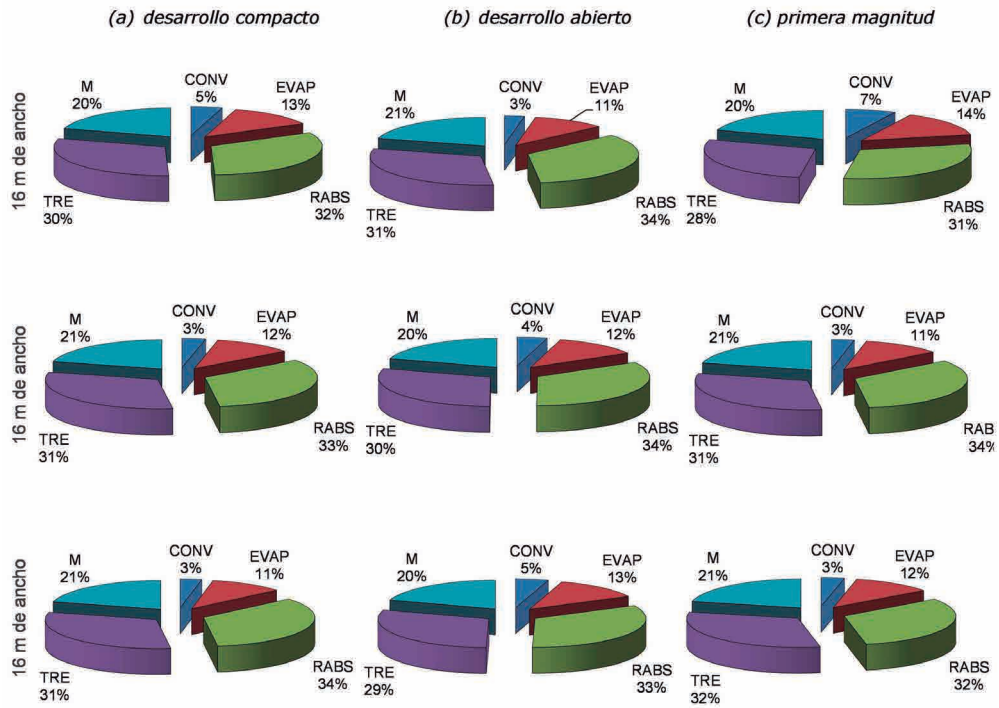


Figura 3 Participación de cada flujo de energía en el balance de los cañones urbanos de baja densidad de edificación. Fuente: Elaboración propia.

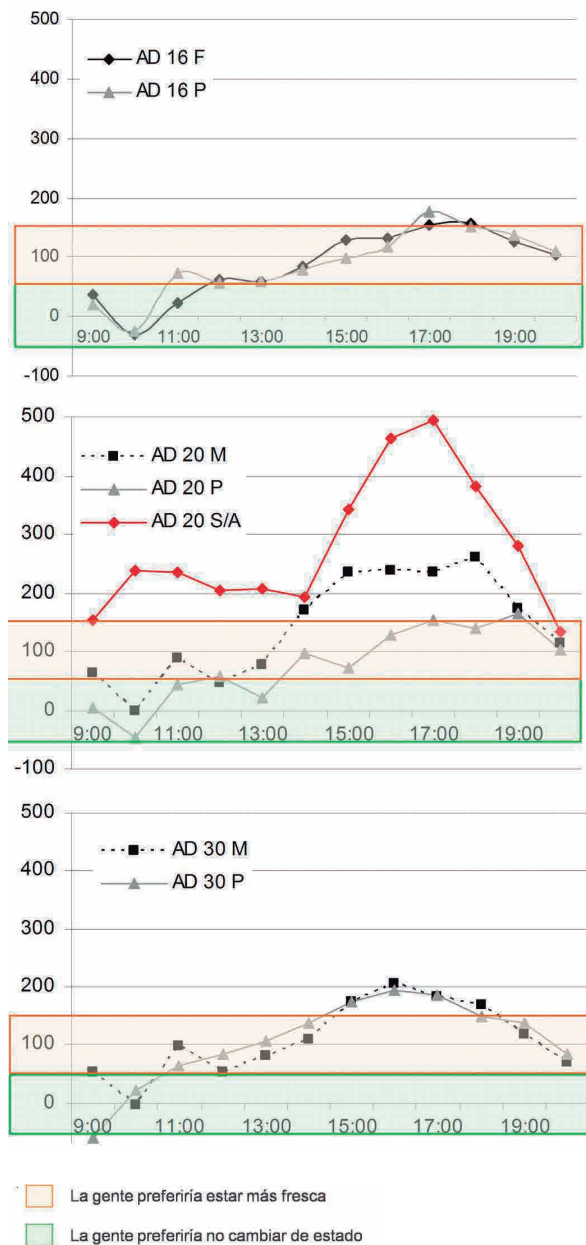


Figura 4 Balance de energía en los cañones urbanos de baja densidad de edificación. Fuente: Elaboración propia.

individuo. Por lo tanto, el acceso al sol y las propiedades térmicas y ópticas de los materiales que componen el cañón urbano son las variables más susceptibles de ser manipuladas en orden a mejorar el desempeño térmico del espacio.

En los cañones urbanos de 16 m de ancho, el intercambio convectivo representa sólo el 3% para el caso de forestación de segunda magnitud y desarrollo abierto, mientras que es del 7% para el caso de primera magnitud y de 5% para el caso de la segunda magnitud de desarrollo compacto. En este caso a igual relación altura/ancho del cañón y dado que el cañón de 16 m es el más angosto, la máxima exposición solar asociada a la morfología de la especie de segunda magnitud y desarrollo compacto tiene un menor impacto.

## ANÁLISIS DE LOS CASOS DE ALTA DENSIDAD DE EDIFICACIÓN

La Figura 4 presenta los resultados respecto de la alta densidad de edificación.

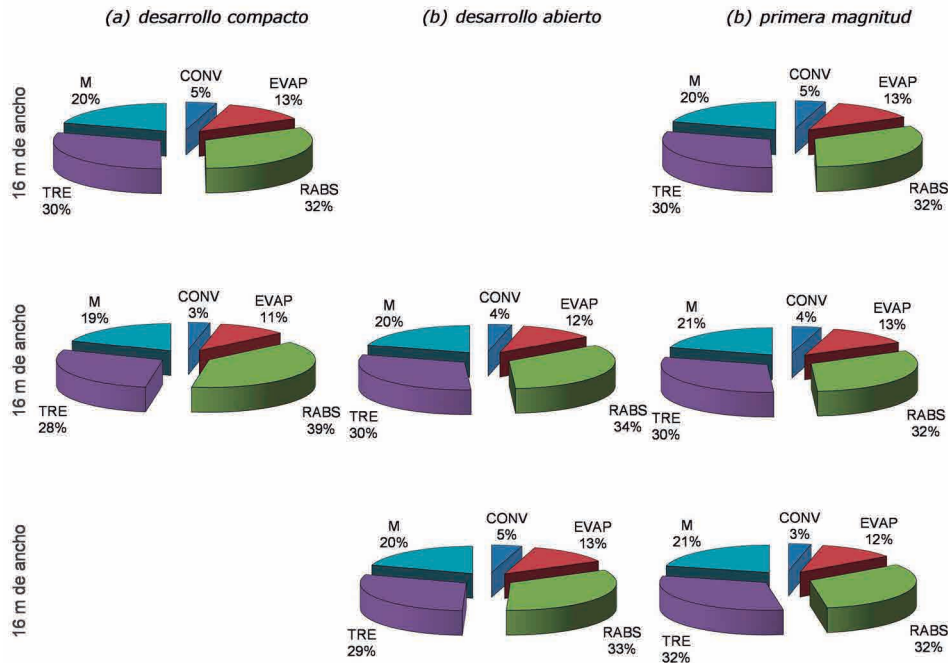
Entre ambos cañones de 16 m no hay diferencias apreciables en el desempeño térmico (Figura 9). A pesar que ambas morfologías forestales son extremadamente diferentes, al ser el cañón urbano angosto y profundo, la morfología edilicia parece gobernar los balances térmicos por encima de la forestal.

En el caso de los cañones de 20 m en la alta densidad de edificación, el altísimo grado de disconformidad térmica que presenta el cañón sin árboles a lo largo de todo el periodo demuestra claramente cómo la sustentabilidad del modelo urbano seguido por la ciudad de Mendoza —ciudad abierta en una zona árida— desde el punto de vista térmico está basada en la existencia de la trama forestal. En este caso el mejor desempeño térmico está asociado a la primera magnitud, la altura final de esta especie (superior a los 15 m) sombrea no sólo las superficies horizontales sino también las superficies verticales de acumulación que para el caso de la alta densidad de edificación pasan a tener un mayor peso sobre el balance térmico de los espacios.

Finalmente, los cañones de 30 m en la alta densidad de edificación no muestran diferencias significativas, en su desempeño térmico ya sea se encuentren forestados con especies de primera magnitud o con especies de segunda magnitud y desarrollo abierto.

Del análisis de la Figura 5, que representa el impacto de los distintos flujos de energía sobre el balance térmico en la alta densidad de edificación se observa que al igual que en la baja densidad de edificación, en todos los casos de alta densidad, el componente del balance energético que predomina es el de la radiación absorbida por la persona. En general, las proporciones





**Figura 5** Participación de cada flujo de energía en el balance de los cañones urbanos de alta densidad de edificación.  
 Fuente: Elaboración propia

también son similares, a excepción del caso de 20 m de ancho sin forestación en el que la radiación absorbida llega hasta el 39%. Este valor confirma cómo el modelo urbano depende de la trama vegetal. Pero, no sólo debe tenerse en cuenta el arbolado sino también las demás variables que contribuyen a minimizar la radiación absorbida y maximizar la radiación emitida, así como también la evapotranspiración y la convección. En este sentido, las superficies con bajo albedo y alta emitancia resultan una alternativa viable.

## CONCLUSIONES

Este trabajo se ha propuesto evaluar el balance térmico de un cañón urbano y cómo éste es afectado por distintas combinaciones de morfología de la trama urbana, fisonomía de las especies forestales y densidad de edificación del entorno construido. En términos generales puede decirse que la morfología asociada a la estructura del árbol usado en la forestación es de mayor importancia para los casos evaluados en la baja densidad, donde se aprecia que las distintas configuraciones presentan diferencias significativas en su comportamiento. Para el caso de la alta densidad de edificación, sólo los cañones de 20 m se muestran susceptibles a

la influencia de la morfología forestal, aunque esto no es un dato mínimo si consideramos que el 75% de los cañones urbanos que conforman los espacios de la ciudad corresponden a este ancho. En otras palabras la adecuada selección de la fisonomía del forestal es clave a la hora de maximizar la eficiencia energética y la habitabilidad de los espacios urbanos en las áreas de baja densidad de edificación presentes en la ciudad.

Otro aspecto importante que deriva del análisis, es la dependencia del modelo de ciudad respecto de la trama forestal, mostrando el alto grado de disconformidad térmica asociado al esquema sin forestación. Esto pone de manifiesto la necesidad de una planificación y manejo racional del recurso forestal de la ciudad como estrategia ineludible para su sustentabilidad energética.

Los resultados indican que los flujos energéticos dominantes en los balances de los espacios urbanos analizados son la radiación absorbida y la radiación emitida, ambos flujos dependientes del factor de visión de cielo, determinado por la morfología resultante de la combinación de la estructura urbana, edilicia y forestal y su relación con la trayectoria solar; y por otra parte por las propiedades ópticas y térmicas de los materiales pues las mismas determinan la temperatura superficial de las envolventes.

En conclusión, las nuevas urbanizaciones y las zonas de baja densidad de edificación debieran forestarse teniendo en cuenta el ancho del cañón urbano para obtener los mejores comportamientos desde el punto de vista térmico y de la habitabilidad del espacio exterior, y disminuir los consumos de energía de la edificación asociada al mismo. En este sentido se propone plantar especies de primera magnitud, como *Platanus hispanica*, en cañón urbano de 30 m; especies de segunda magnitud y desarrollo abierto, como *Morus alba*, en calles de 20 m y especies de segunda magnitud forestal y desarrollo compacto, como *Fraxinus excelsior*, en cañones urbanos de 16 m.

En el caso del reemplazo de forestales en zonas consolidadas de alta densidad de edificación, la elección de la especie forestal es importante en los cañones de 20 m de ancho, en los que es conveniente la plantación de especies de primera magnitud forestal.

Estos resultados serán de utilidad a los planificadores urbanos a fin de configurar ciudades térmicamente eficientes. En el futuro se espera poder ampliar el estudio en los horarios nocturnos y analizar mayor cantidad de variables.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, H., DAVIS, S., DORSANO, S., HUANG, J. & WINERT, S. (Eds.). *Cooling our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. 1º ed. Washington: US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division, 1992.

ALEXANDRI, Eleftheria & JONES, Phillip John. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*. 2008, nº 43, pp. 480-493. [Consultado 22 octubre 2015]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.10.055

BLANC, Patrick. *The vertical garden in nature and the city*. 1º ed. New York: W. W. Norton & Company Ltd., 2008.

BOCHACA, Fabián. El verde en la estructura urbana de Mendoza. *ARQ*. 2005, nº 60, pp. 68-71. [Consultado 22 octubre 2015]. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-69962005006000013&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-69962005006000013&script=sci_arttext)

BÓRMIDA, Eliana. Mendoza, una ciudad oasis. *Facultad de Diseño, Arquitectura y Urbanismo. Revista de la Universidad de Mendoza*. 1984, nº 226, pp. 68-72. [Consultado 22 octubre 2015]. Disponible en: [www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RUM/article/download/189/213](http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RUM/article/download/189/213)

BROWN, Robert D. & GILLESPIE, Terry J. *Microclimate landscape design*. 1º ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

CANTÓN, A., CORTEGOSO, J., DE ROSA, C. Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*. 1993, nº 20, pp. 219-30.

CORREA, Erica Norma, DE ROSA, Carlos & LESINO, Graciela. Isla de calor urbana. Distribución espacio-temporal de temperaturas dentro del Área Metropolitana de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2006, nº 10(1), pp. 121-128. [Consultado 22 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.cricy.edu.ar/asades/averma.php>

CORREA, E., MARTINEZ, C.F. & CANTÓN, M.A. Influencia del uso de distintas magnitudes forestales sobre el comportamiento térmico de los cañones urbanos. El caso de la primera magnitud en ciudades de zonas áridas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2008, nº 12(1), pp. 155-162. [Consultado 22 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.cricy.edu.ar/asades/averma.php>

AUTOR, et al., 2012.

GAITANI, N., MIHALAKAKOU, G., SANTAMOURIS, M. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment*. 2007, nº 42, pp. 317-324.

GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 1027/2007. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). *Boletín Oficial del Estado*. 2007, nº 207, 35931-35984.

MCPHERSON, E.G. Structure and sustainability of Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture*. 1998, nº 24(4), pp. 174-190.

NOWAK, D.J., CRANE, D.E. & DWYER, J.F. Compensatory Value of Urban Trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 2002, nº 28, pp. 194-199.

ROSENFELD, A., AKBARI, H., ROMM, J. & POMERANTZ, M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*. 1998, nº 28, pp. 51-62. [Consultado 22 octubre 2015]. DOI:10.1016/S0378-7788(97)00063-7

RIZWAN, A. M., Y. C.Y. DENNIS, & LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environment Science*. 2008, nº 20, pp. 120-128.

AUTOR, 2013.

AUTOR & AUTOR, 2014.

AUTOR & AUTOR, 2015.

SAILOR, D.J. & MUNOZ, J.R. Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA: Methodology and results for eight states. *Energy*. 1997, nº 22, pp. 987-998. [Consultado 22 octubre 2015]. DOI:10.1016/S0360-5442(97)00034-0

SANTAMOURIS, Mattheos. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. 1º ed. London: James & James, 2001.

SANTAMOURIS, M., PAVLOU, K., SYNNEFA, A., NIACHOU, K. & KOLOKOTSA, D. Recent progress on passive cooling techniques. Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*. 2007, nº 39, pp. 859-866. [Consultado 22 octubre 2015]. DOI:10.1016/j.enbuild.2007.02.008

SCUDO, G. Thermal comfort. En: *EUROPEAN Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research - COST Action C11. Green structure and urban planning - Progress Report 2002*. 2002. pp. 259-266.

SOLECKI, W. D., C. ROSENZWEIG, L. PARSHALL, G. POPE, M. CLARK, J. COX, & WIENCKE, M. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Environmental Hazards*. 2005, nº 6, pp. 39-49.

STATHOPOULOU, E., MIHALAKAKOU, G., SANTAMOURIS, M. & BAGIORGAS, H.S. On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *Journal of Earth System Science*. 2008, nº 117(3), pp. 227-236. [Consultado 22 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.ias.ac.in/jess/jun2008/jess177.pdf>  
WONG, N., TAN, A.Y.K., TAN, P.Y. & WONG, N.C. Energy Simulation of Vertical Greenery Systems. *Energy and Buildings*. 2009, nº 41(12), pp. 1401-1408. [Consultado 22 octubre 2015]. DOI:10.1016/j.enbuild.2009.08.010