

MODELO DE DETERMINACION DE LA ENERGIA SOLAR DISPONIBLE EN MEDIOS URBANOS MODIFICADOS POR LA PRESENCIA DEL ARBOLADO.

M.A. Cantón* - J.Fernández** - J.L. Cortegoso** - C. de Rosa***

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV). Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA). Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. (CRICYT)

Casilla de Correo 131 - 5500 Mendoza ARGENTINA

RESUMEN

El trabajo que se presenta, expone la metodología desarrollada y los primeros resultados de la elaboración de un modelo de cálculo analítico - computacional cuyo objetivo es el de cuantificar la radiación solar bloqueada por la copa de los árboles en tramas urbanas consolidadas.

Un conocimiento preciso del potencial bioclimático afectado por la presencia del arbolado permitirá sentar bases en lo atinente a estrategias a seguir de modo de compatibilizar los beneficios energéticos y ambientales del bosque urbano con el acceso a los recursos climáticos de la región.

1. INTRODUCCION

La radiación solar disponible en medios urbanos depende no sólo de un determinado ordenamiento de volúmenes edilicios sino también, en el caso particular de Mendoza, del alineamiento de especies arbóreas a lo largo de sus calles.

Desde el punto de vista de la bioclimatología edilicia, esta situación representa un beneficio neto en la estación cálida debido a una menor acumulación de calor en la envolvente edilicia, mientras que en la estación fría, bloquea el acceso al recurso solar, condicionando la aplicabilidad de estrategias disponibles.

Resulta por lo tanto importante, conocer en términos cuantitativos, la radiación solar disponible en medios urbanos afectados por la presencia del arbolado de modo de compatibilizar los beneficios que el árbol produce con el acceso pleno a los recursos de la región.

A partir de lo expuesto, se ha desarrollado un modelo analítico computacional cuyo objetivo fundamental es determinar el potencial bioclimático de entornos urbanos arbolados para las distintas épocas del año y horas del día. Se trata por lo tanto, de evaluar la cantidad de radiación que alcanza a la zona sombreada por la copa del árbol, sobre plano horizontal y vertical.

-
- * Becaria Post-doctoral (CONICET)
 - ** Profesional Principal (CONICET)
 - *** Investigador Independiente (CONICET)



2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

2.1 MODELO MATEMÁTICO

El modelo considera en primera fase, solamente especies de forma asimilada a esferas, alineadas al plano vertical de fachada y una altura constante de edificios y tipos de pavimentos urbanos. La bóveda celeste se considera de cañón corrido.

Metodológicamente el modelo ha sido estructurado de modo de evaluar la incidencia de la radiación directa, difusa y reflejada de la siguiente manera: (Figura 1a y b)

Radiación filtrada por el follaje :

La radiación que atraviesa la copa de un árbol ($I_{M/V1}$) es un porcentaje de la radiación global a cielo abierto ($I_{H/V}$) la cual depende, no sólo de la densidad del follaje de las distintas especies arbóreas sino también, de las distintas épocas del año en relación al periodo de foliación de las mismas.

En términos analíticos, dicha consideración se traduce en la siguiente fórmula:

$$I_{M/V1} = \%P \cdot I_{H/V}$$

Si bien el porcentaje de permeabilidad (%P), ha sido determinado a través del desarrollo de mediciones para las cuatro especies más usuales en el medio urbano del Gran Mendoza. (Plátano, Morera, Fresno y Paraíso). (1), se halla en estudio un método alternativo basado en la exploración electrónica de fotografías y posterior procesamiento con software standard de tratamiento de imágenes.

Dicho método tiene por objetivo no sólo obtener resultados más próximos a situaciones urbanas, debido a que existe una distorsión importante entre el grado de desarrollo que alcanzan las especies en condiciones aisladas y las que adquieren en el medio urbano, sino también ampliar el universo de especies analizadas.

Radiación Difusa :

Para el cálculo de la radiación solar difusa en el área sombreada por la copa del árbol, se ha partido de considerar a la misma proveniente en forma isotrópica desde toda la semiesfera celeste.

A partir de dicha consideración el procedimiento consiste en determinar el ángulo sólido medio visto ($\sigma h/v$) por la superficie de la zona sombreada por la copa del árbol de modo de obtener en términos de porcentaje la porción de bóveda vista. Dicho porcentaje se aplica al valor de la radiación difusa a cielo abierto ($I_{D1H/V}$), que en términos analíticos se expresa de la siguiente forma:

$$I_{H2/V2} = \left(\frac{\sigma h/v}{180} \times 100 \right) \times I_{D1H/V}$$

La porción de bóveda vista ($\sigma h/v$), se calcula trigonométricamente a partir de un conjunto de datos conocidos referidos a la arboleda y a la posición del sol para un día y hora determinada.

Radiación Reflejada :

La radiación refejada ($I_{H3/V3}$) se calcula a través de la metodología desarrollada por Muhammad Iqbal,(2), para el caso de radiación horaria, en donde:

$$I_{H3} = 1/2 p' I_v$$
$$I_{V3} = 1/2 p I_H$$

siendo :

I_H : Radiación global sobre plano horizontal.

I_v : Radiación global sobre plano vertical.

p : albedo del plano horizontal.

p' : albedo del plano vertical.

Para el cálculo de la radiación reflejada en el área sombreada por la copa del árbol, el modelo sigue los lineamientos conceptuales desarrollados par el caso de la radiación difusa.

Es decir, consiste en encontrar el ángulo visto desde el punto baricéntrico del área sombreada, el cual se define a través de dos ángulos, determinados por el área sombreada por la copa del árbol en el plano opuesto (φ), y el área asoleada (Φ).

Dichos ángulos se aplican en términos de porcentaje a la fórmula general de la radiación reflejada para obtener su cuantificación dentro del área sombreada.

La radiación total ($I_{VT/HT}$) incidente en un plano de sombra puede expresarse como la sumatoria de la radiación global filtrada por la copa del árbol ($I_{V1/H1}$), la radiación difusa ($I_{V2/H2}$) y la reflejada ($I_{V3/H3}$).

$$I_{VT/HT} = I_{V1/H1} + I_{V2/H2} + I_{V3/H3}$$

3. MODELO COMPUTACIONAL

Se desarrolló un programa en lenguaje BASIC que incorpora el modelo matemático descripto y calcula la radiación total en el área de la sombra, tanto en plano horizontal como vertical. El programa está incluido en un conjunto de programas complementarios que permiten calcular:

1. Altitud y azimut solar hora a hora para una fecha y latitud determinada.
2. Distribución de radiación solar hora a hora en planos horizontal e inclinado conocida la radiación total diaria.
3. Areas de sombra de árboles en planos horizontal y vertical.
4. Radiación total sobre las áreas de sombra horizontal y vertical.

Los programas 1 y 2 permiten obtener los datos de posición del sol y distribución de la radiación solar que, junto a los datos geométricos de planos y árboles, albedos de suelo y muros y, permeabilidad de las especies, permiten obtener los resultados en los programas 3 y 4.

4. VERIFICACION DE LOS MODELOS

El modelo matemático desarrollado fue corroborado mediante una metodología gráfica utilizando métodos de resolución de la geometría descriptiva tradicional.

Los resultados obtenidos fueron cotejados con los arrojados por el modelo computacional, para dos días de diseño (21-6 y 21-12), tomando como datos de entrada los siguientes:

	21-6	21-12
a: 5.60	α : 210.94	α : 258.08
b: 7.14	β : 26.84	β : 62.04
r: 3.17		
h: 16	%P : 70	%P : 18

a : Distancia del centro de la copa al plano vertical de fachada.

b : Altura del centro de la copa.

r : Radio de la copa esférica.

h : Altura del paramento vertical.

α : Azimut solar.

β : Altitud solar.

%P: Porcentaje de permeabilidad a la radiación solar directa.

Los resultados arrojados por ambos modelos exigió reformular criterios en cuanto al cálculo de los ángulos intervinientes en la determinación de la porción de la bóveda celeste vista y, replantear en el modelo computacional las fórmulas que involucran expresiones en grados, mediante su conversión a radianes.

A partir de lo expuesto, los resultados obtenidos para ambos modelos, matemático y computacional pueden considerarse con un alto grado de ajuste, dado que las variaciones en los resultados obtenidos alcanzan valores máximos de distorsión del 1%.

5. RESULTADOS

Como primera etapa en la evaluación de resultados, se han propuesto dos objetivos:

Un objetivo particular, cuyo fin es el de evaluar el aporte de la radiación difusa y reflejada a la radiación filtrada por el follaje.

Un objetivo general de modo de evaluar la disminución de la radiación solar disponible, desde el punto de vista del acceso al sol en invierno en fachadas con exposición Norte y, de la menor acumulación de calor en la envolvente edilicia en verano.

A partir de lo expuesto, en primera instancia, el modelo ha sido corrido para las cuatro especies estudiadas: Plátano (*Platanus acerifolia*), Morera (*Morus alba*), Fresno (*Fraxinus excelsior*) y Paraíso (*Melia azedarach*) para un ciclo anual, sobre plano vertical, mediante una corrida mensual a las 10 a.m.

Con respecto a las variables referidas a la arboleda se han considerado valores comunes a las cuatro especies de modo de comparar también la incidencia de la densidad del follaje y los periodos de foliación de las distintas especies.

Los resultados obtenidos demuestran que la radiación directa filtrada por el follaje está en función

RADIACION SOLAR DISPONIBLE EN EL AREA DE SOMBRA VERTICAL DE FACHADA

Figura 2 : Fresno - 10 hs.

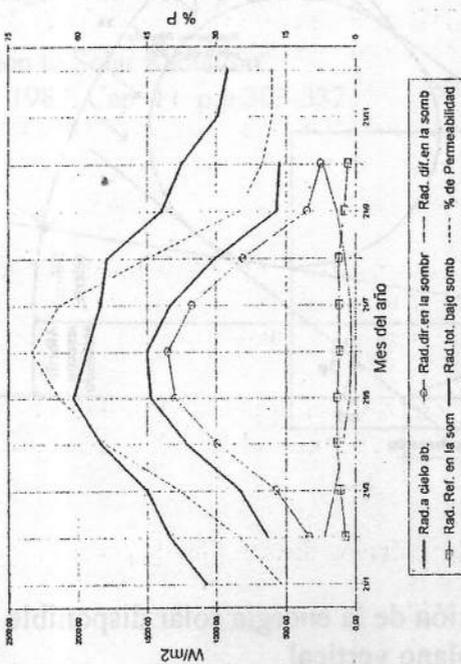


Figura 3 : Plátano - 10 hs

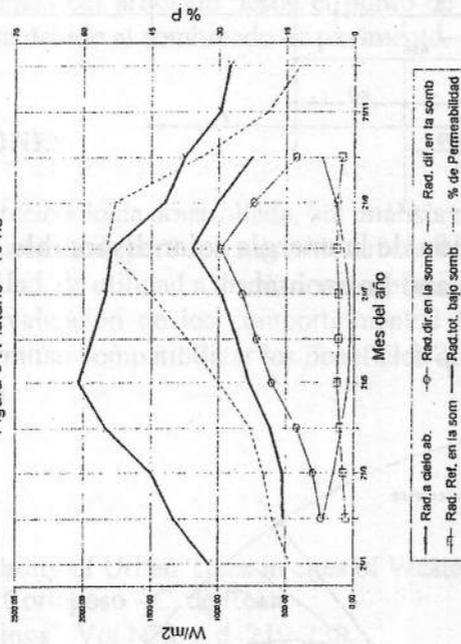


Figura 4 : Morera - 10 hs.

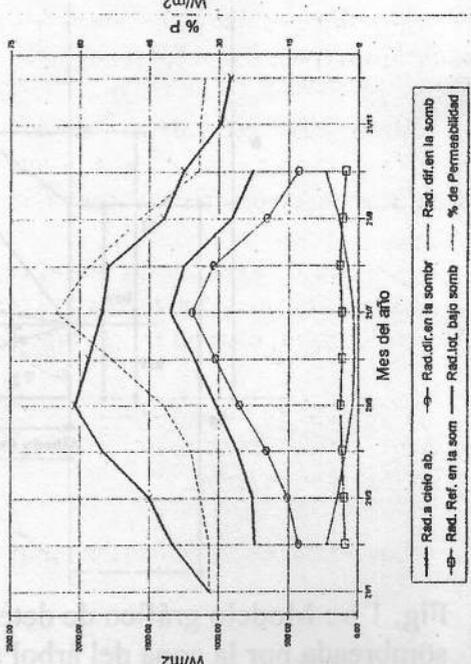


Figura 5 : Paraiso - 10 hs.

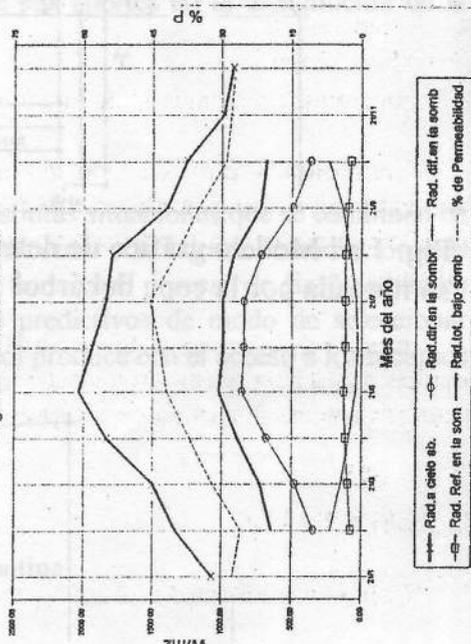
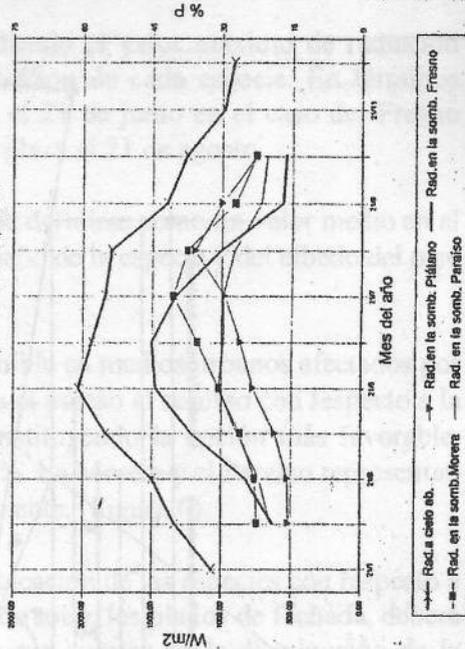


Figura 6 : Comparación de especies



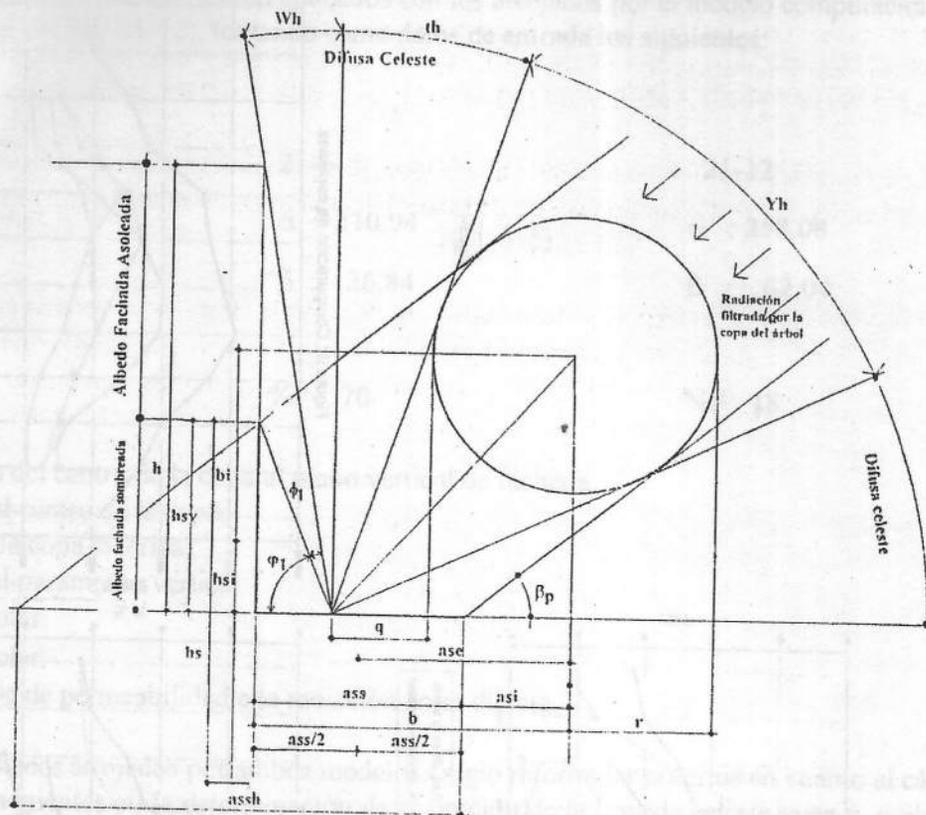


Fig. 1 a : Modelo gráfico de determinación de la energía solar disponible en el área sombreada por la copa del árbol sobre plano horizontal.

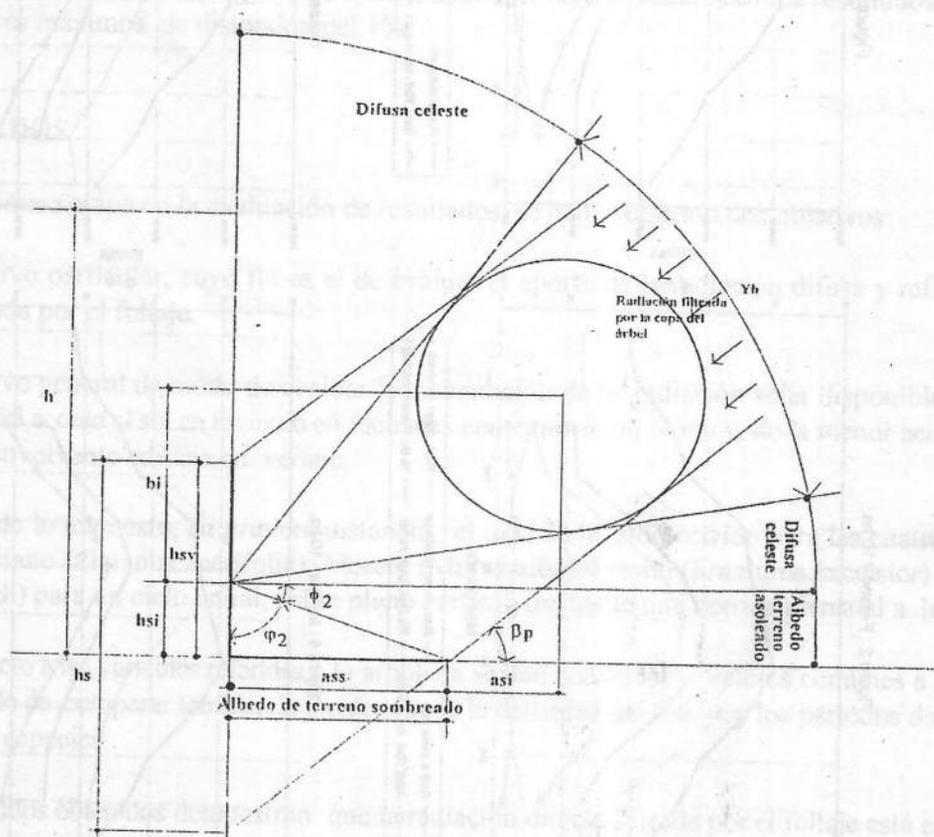


Fig. 1 b : Modelo gráfico de determinación de la energía solar disponible en el área sombreada por la copa del árbol sobre plano vertical.

de la permeabilidad de la especie a la radiación solar, dependiendo el valor máximo de radiación disponible en el plano vertical de fachada, del periodo de foliación de cada especie. En términos cuantitativos dicho valor es del orden de los 1501 W/m² para el 21 de junio en el caso del Fresno mientras que en el Plátano el valor máximo (1192 W/m²), se desplaza al 21 de agosto.

El aporte de la radiación difusa y reflejada a la directa puede definirse como un valor medio en el ciclo anual del orden del 27 %. Dicho porcentaje depende del tamaño de la especie y del albedo del piso. (Figura 2,3,4 y 5).

Desde el punto de vista de la reducción de la radiación disponible en medios urbanos afectados por el arbolado, en los meses centrales de invierno el Fresno bloquea el acceso al recurso con respecto a la radiación a cielo abierto en el orden del 25,8 % promedio, constituyendo la opción más favorable, mientras que el Plátano bloquea el acceso al recurso en un 54,6 %. La Morera y el Paraíso representan opciones intermedias del orden del 37,6 % y 48,2 % respectivamente. (Figura 6).

Si bien, en la situación de verano, la posición del sol y la ubicación de las especies con respecto a la línea de edificación, en este caso particular, no generan sombreados sobre los planos de fachada, deberá evaluarse la presencia del arbolado desde el punto de vista de sus aportes en la disminución de la temperatura urbana debido al sombreado de pavimento.

6. CONCLUSIONES

A partir de la metodología desarrollada, un análisis de las distintas situaciones que se combinan en la volumetría urbana afectada por la presencia del arbolado permitirá contar con valores de radiación más ajustados a la realidad, de utilidad a diseñadores y planificadores tanto en el proceso de diseño como en los procesos de evaluación de los comportamientos térmicos predictivos de modo de seleccionar estrategias que permitan compatibilizar los beneficios que el árbol produce con el acceso a los recursos que ofrece el clima.

REFERENCIAS

(1). "Solar Permeability of Urban Trees in cities of Western Argentina".
M.A.Cantón - J.L.Cortegoso - C. de Rosa.
"Energy and Buildings". Vol.Nº3. p.p. 219-230.

(2). "An Introduction to Solar Radiation".
Muhammad Iqbal. 1983. Cap. 11. p.p.303-332.