

CUANTIFICACION DE LA RADIACION SOLAR BLOQUEADA POR LA COPA
DE ESPECIES CADUCIFOLIAS EN TRAMAS URBANAS.
DESARROLLO DE UN MODELO DE CALCULO
ANALITICO-COMPUTACIONAL.

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

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV - CRICYT)

Casilla de Correo 131. 5500 Mendoza.

RESUMEN

El recurso solar, verdaderamente significativo, en las ciudades del oeste argentino representa una alternativa energética de alta factibilidad. Desde el punto de vista de la bioclimatología edilicia, la presencia del arbolado en medios urbanos, condiciona el acceso a los recursos climáticos.

El trabajo que se presenta expone el desarrollo de un modelo analítico-computacional cuyo objetivo final es el de cuantificar la reducción de la radiación solar disponible sobre fachadas potencialmente colectoras para la situación de invierno y la disminución de la radiación incidente sobre el medio urbano interceptado por la copa de las cuatro especies más usuales en el medio urbano del Gran Mendoza: Plátano (*Platanus acerifolia*), Morera (*Morus Alba*), Fresno (*Fraxinus excelsior*) y Paraíso (*Melia azedarach*).

Los resultados de la aplicación de dicho modelo, permitirán elaborar en etapas futuras, una propuesta aplicable a la reglamentación edilicia de la ciudad de Mendoza de modo de compatibilizar los beneficios que el árbol produce con el acceso pleno a los recursos climáticos regionales.

1.INTRODUCCION

Desde el punto de vista de la bioclimatología edilicia, la presencia del arbolado en medios urbanos, particularmente en zonas de clima mesotermal árido, condiciona el acceso a los recursos disponibles. Un conocimiento cuantitativo de dicho condicionamiento resulta de particular importancia para optimizar la utilización de estrategias de diseño que permitan compatibilizar los beneficios que el árbol produce, con el acceso pleno a los recursos de la región.

Se trata por lo tanto, de evaluar en un ciclo anual, es decir para la situación de invierno y verano, los siguientes aspectos:

- Situación de invierno : Cuantificación de la radiación solar disponible sobre fachadas potencialmente colectoras y sus consecuencias energéticas en los agrupamientos edificios.

* Becaria de Perfeccionamiento (CONICET)

** Profesional Principal (CONICET)

*** Investigador Independiente (CONICET)

-Situación de verano: Cuantificación de la radiación incidente sobre el medio urbano interceptado por el arbolado. Determinación de su distribución espacial y de sus consecuencias ambientales y energéticas.

El estudio del tema se realiza mediante un proyecto de investigación del programa de becas internas del CONICET, para el bienio 1992-1994.

Dado que el objetivo del proyecto, es el de determinar el potencial bioclimático en medios urbanos modificado por la presencia del arbolado, el trabajo que se presenta expone un modelo analítico-computacional. Dicho modelo combina la geometría solar, producto de la intersección de los volúmenes de sombra con las fachadas de cada edificio, con los resultados experimentales de las cuatro especies más usuales en el medio urbano de Capital, Mendoza: Plátano (*Platanus acerifolia*), Morera (*Morus alba*), Fresno (*Fraxinus excelsior*) y Paraíso (*Melia Azedarach*).⁽¹⁾

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

A partir de la definición de las variables urbanas (2), el modelo analítico-computacional desarrollado, permite calcular el área sombreada por árboles de forma asimilada a esferas y elipsoides de revolución (horizontal y vertical), (3) sobre plano vertical y horizontal y la superposición de sombras para el caso de árboles en hilera, sobre ambos planos.

El modelo en desarrollo evalúa en primera instancia la influencia de la radiación directa, mientras que el análisis de la radiación difusa y reflejada se incorporará en una segunda etapa, a manera de sumatoria, de modo de constituir el modelo definitivo.

La información que ingresa al modelo, es la integrada por dos conjuntos de datos: resultantes de la posición del sol y de las variables urbanas.

-Posición del sol:

a: Azimut del rayo solar.

β: Altitud del rayo solar.

Tanto el azimut, ángulo medido sobre el plano horizontal, desde la salida del sol hasta la orientación sur, como la altitud, altura del sol sobre el horizonte, definen la posición del sol en un día, a una hora elegida y en el lugar determinado (latitud y longitud). Los valores correspondientes a dichos ángulos, quedan determinados por el programa ALTSOL BAS, mediante la generación de archivos que guardan los valores mencionados.

-Variables urbanas:

El modelo contempla dos tipos de variables: variables edilicias, simplificadas en esta primera etapa a la consideración de la misma, como un plano vertical continuo. Es decir que se parte de la hipótesis que los volúmenes construidos se desarrollan sobre la línea municipal.

-Variables referidas a la arboleda:

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

b: Altura del punto centro de la copa sobre el plano horizontal.

r: Radio del árbol en su proyección horizontal.

p: Relación entre los semiejes (radios) vertical y horizontal.

d: Distancia entre árboles, cuando se trata de hileras paralelas a un plano vertical.

3. AJUSTE DE LAS VARIABLES URBANAS

La definición de dichas variables, exigió el desarrollo de una metodología que permitiera geometrizar la forma que toma el árbol en el medio urbano con respecto a su fenotipo, como consecuencia de un conjunto de factores tales como alineación de especies en hilera, efectos de poda, etc.

El método de definición empleado fue el fotográfico. Se realizaron distintas tomas, en el área de capital, Mendoza de las cuatro especies estudiadas, las cuales fueron seleccionadas en forma aleatoria. El material obtenido fue analizado gráficamente mediante el seguimiento de los puntos extremos de la copa de modo de definir la silueta que adquiere la misma en cada especie analizada.

Si bien, en esta etapa, se obtuvo una forma más aproximada a la realidad, fue necesario aplicar una segunda etapa de ajuste de modo de cuantificar con mayor precisión la superficie de obstrucción de la copa, en función de las distintas situaciones de borde.

Debe considerarse también que la observación de las especies en el medio urbano, detectó la presencia de especies con forma asimilada a semielipses, la cual no ha sido contemplada en el desarrollo del modelo, pero que se deberá incorporarse en una futura etapa.

La tarea fue realizada a partir de un método manual de "conteo de puntos", el cual se basa en la superposición de la imagen de la copa con una grilla densa de puntos (100 puntos por cm^2). Dada la complejidad y lentitud del método, se optó por emplear un planímetro electrónico.

Los resultados obtenidos demostraron variaciones máximas en la superficie estimada de la copa del orden del 16% en valores absolutos. (Tabla 1)

A partir del ajuste de la forma de la copa y la cuantificación de su superficie de obstrucción fueron recalculadas las distintas variables intervinientes en el modelo, definiendo para cada especie, con respecto a la forma, rangos en función de la relación entre los semiejes mayor y menor de la copa, y con respecto a las variables, valores de máxima y mínima, de modo de cubrir un espectro amplio que contemple las diferentes situaciones urbanas. (Tabla 2).

4. VERIFICACION DEL MODELO

4.1. Modelo analítico

Los modelos matemáticos desarrollados, fueron corroborados mediante una metodología gráfica, utilizando métodos de resolución de la geometría descriptiva tradicional, de la siguiente manera:

Se realizó un cálculo numérico, para el caso de arboles esféricos, tomando como datos de entrada, los siguientes valores:

$$\begin{array}{lll} a = 4.75 \text{ m} & r = 4.6 \text{ m} & \alpha = 67.50^\circ \\ b = 7.35 \text{ m} & p = 1 & \beta = 39.50^\circ \end{array}$$

. Se desarrolló el mismo caso, gráficamente, de modo de obtener las superficies de sombra sobre plan horizontal y vertical, denominados Ash y Asv respectivamente, y las fracciones de sombra (Fsh 1D, Fsv 1D), sobre ambos planos.

Los resultados obtenidos para ambos métodos fueron cotejados entre sí, observándose un grado de ajuste importante en la obtención de los valores de superficies de sombra. No obstante se evidencia un desajuste significativo en las fracciones de sombra, que indican la necesidad de reconsiderar el modelo en esta sub etapa. (Tabla 3).

4.2. Modelo computacional

Con respecto al modelo computacional, para su verificación, se presentan dos tipos de dificultades. Referidas en primer término, a corroborar el mismo en entornos urbanos reales, y en segunda instancia a la definición del método de medición para ajustar los valores de permeabilidad de la copa del árbol obtenidos en ejemplares aislados, a especies alineadas en el entorno urbano, sobre plano vertical.

Con respecto a la primera, es decir a la verificación del modelo computacional, el modelo teórico desarrollado simplifica la temática urbana de modo tal que no contempla el porcentaje de reducción del asoleamiento debido a un conjunto de factores propios del entorno urbano, tales como infraestructura urbana (postes de alumbrado público, distribución domiciliar de energía eléctrica, señalizaciones, etc.), edificios vecinos, etc.

Esta realidad indicaría la necesidad de verificar el método en situaciones controladas, más próximas a las contempladas en el modelo, de modo de evitar importantes distorsiones.

Con respecto a la segunda dificultad, es decir, a la definición del método de medición, se encuentran en estudio, las siguientes alternativas:

El uso de un fotómetro sobre pantalla vertical, el cual permitiría conocer el porcentaje de permeabilidad de la copa del árbol mediante la comparación de la misma, con las dos situaciones extremas: obstrucción total y ausencia de obstrucción.

La segunda alternativa, en consideración, es la de obtener imágenes fotográficas o de video, (4-5) de los frentes de manzana, y procesar dichas imágenes mediante un programa de computación que permita su digitalización. Esto significa computar áreas asoleadas y sombreadas en la imagen procesada por dicho programa.

Las dificultades que se presentan en este caso, además de aquellas de índole práctica en la toma de imágenes, son las siguientes:

- Falta de definición en el contorno que separa áreas asoleadas de sombreadas, a los efectos de determinar con precisión dichas áreas.
- Distorsiones tonales entre la imagen registrada y la real, que dificultan la diferenciación clara entre zonas sombreadas y asoleadas.
- No linealidad de los componentes involucrados en el sensado y en la conversión de la imagen lumínica.

5. CONCLUSIONES

Se presenta una metodología para el cálculo computacional de las áreas de bloqueo de la radiación directa sobre fachadas. Al presente el modelo se halla en etapa de ajuste y se le incorporara en un futuro próximo el análisis de la radiación difusa y reflejada.

El trabajo tiene como objetivo definir una curva anual, mediante una modelización mensual y, para cada día de diseño, una curva horaria. A partir de los resultados obtenidos, se sentaran bases, en lo atinente a estrategias técnicas, de posible incorporación a futuras normas y códigos urbanos que consideren la utilización generalizada de la radiación solar con fines energéticos en la edificación y beneficios ambientales en el medio urbano.

7. REFERENCIAS

- (1). "Incidencia del arbolado en el potencial bioclimático de entornos urbanos en zonas áridas".
M.A.Cantón - Carlos de Rosa - Alfredo Esteves.
Presentado en la XIIIa. Reunión de Trabajo de ASADES. Salta, 1988.
- (2). "Efecto de la arboleda en el potencial solar de entornos urbanos en cuadrícula".
M.A.Cantón - A. Mermet - Carlos de Rosa.
Presentado en la XVa. Reunión de Trabajo de ASADES. Catamarca, 1990.
- (3). "Geometric solids for simulation of tree crowns".
Mc Pherson, E.G. and Rowntree, R.A.
Landscape and Urban Planning 15 (1988) 79-83.
- (4). "Rating winter crown density of deciduos trees: a photographic procedure".
Wagner, A.J. and Heisler G.H.
Landscape Journal. Vol.5 N° 1 (1986).
- (5). "Validation of video image capture/interpretation method to approximate solar radiation reduction due to tree shading in summer".
Motlock, L.L. and Song, K.D.
(1991).

TABLA 3: RESULTADOS DE LA VERIFICACION DEL MODELO ANALITICO

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

AD* Alta Densidad
MD** Media Densidad
BD*** Baja Densidad

TABLA 1: AJUSTE DE LAS VARIABLES URBANAS REFERIDAS AL ARBOLADO
PARAISO

SUP. *	SUP. **	% AJUST	p	EJE V	EJE H	h TOTAL	b	r
40.05	38.79	- 3.14	0.90	6.66	7.40	9.00	5.67	3.70
32.98	32.32	- 2.04	0.85	5.94	6.93	9.00	6.03	3.46
32.05	24.94	- 28.50	0.69	4.68	6.79	7.60	5.26	3.39
27.01	23.20	- 16.42	0.53	SEMIELIPSE		7.00		
56.72	58.35	2.79	0.63	6.84	10.85	9.00	5.58	5.42
16.17	17.98	10.06	0.47	SEMIELIPSE		5.70		
44.49	42.98	- 3.51	0.53	SEMIELIPSE		9.50		

MORERA

SUP. *	SUP. **	% AJUST	p	EJE V	EJE H	h TOTAL	b	r
97.54	93.75	- 4.04	0.65	8.80	13.56	13.00	8.60	6.78
96.59	93.88	- 2.88	0.86	10.74	11.81	13.20	8.13	5.90
38.20	37.09	- 2.99	0.84	6.30	7.49	8.00	4.85	3.74
44.76	44.82	0.13	1.01	7.59	7.51	11.30	7.50	3.75
68.15	73.58	7.38	0.77	8.49	11.03	13.11	8.86	5.51
91.60	100.03	8.42	0.98	11.17	11.40	13.20	7.61	5.70
100.54	99.41	- 1.13	0.81	10.12	12.50	13.60	8.54	6.25

FRESNO

SUP. *	SUP. **	% AJUST	p	EJE V	EJE H	h TOTAL	b	r
34.20	30.56	- 11.90	0.97	6.14	6.34	11.00	7.93	3.17
53.90	60.23	10.50	1.13	9.31	8.24	11.80	7.14	4.12
42.75	50.13	14.72	0.73	6.82	9.35	12.30	8.89	4.67
60.72	62.24	2.44	0.75	7.71	10.28	11.20	7.34	5.14
65.77	67.81	3.00	0.62	7.32	11.80	13.15	9.49	5.90
41.58	59.96	16.77	0.61	6.82	11.19	13.46	10.05	5.59

PLATANO

SUP. *	SUP. **	% AJUST	p	EJE V	EJE H	h TOTAL	b	r
157.51	155.10	- 1.55	0.55	SEMIELIPSE		18.80		
100.06	84.56	- 18.33	0.75	8.98	11.99	14.60	10.11	6.00
111.21	91.24	- 21.88	1.01	10.83	10.73	17.00	11.58	5.36
127.82	97.37	- 31.27	0.80	9.96	12.44	16.30	11.35	6.22
103.35	89.27	- 15.77	0.48	7.39	15.38	14.00	10.30	7.69
141.37	141.11	- 0.18	0.55	9.94	18.07	14.00	9.03	9.03

* SUPERFICIE DE LA COPA SEGUN SEGUIMIENTO DE PUNTOS EXTREMOS DE LA MISMA.

** SUPERFICIE DE LA COPA SEGUN CONTEO DE PUNTOS.

p RELACION ENTRE EJES VERTICAL Y HORIZONTAL

b ALTURA DEL PUNTO CENTRO DE LA COPA $b = h \text{ TOTAL} - \text{EJE V}/2$

r RADIO DEL ARBOL EN SU PROYECCION HORIZONTAL $r = \text{EJE H}/2$

TABLA 2: VALORES DE MAXIMA Y MINIMA DE LAS VARIABLES INTERVINIENTES EN EL MODELO

A. PARA CADA DENSIDAD CONSTRUCTIVA (M)

a	A.D.*	M.D.**	B.D.***
MAX	5.60	2.40	3.50
MIN.	3.60	2.10	3.50

B. PARA CADA ESPECIE ARBOREA (M)

b	PARAISO	MORERA	FRESNO	PLATANO
MAX	6.03	8.86	10.05	11.58
MIN.	5.26	7.50	7.14	9.03

r	PARAISO	MORERA	FRESNO	PLATANO
MAX	5.42	6.78	5.90	9.03
MIN.	3.39	3.74	3.17	5.36

p	PARAISO	MORERA	FRESNO	PLATANO
MAX	0.90	1.01	1.13	1.01
MIN.	0.63	0.65	0.61	0.48

TABLA 3: RESULTADOS DE LA VERIFICACION DEL MODELO ANALITICO

	METODO ANALITICO	METODO GRAFICO	AJUSTE
Ash	108.48 m ²	106.065 m ²	1.49%
Asv	225.44 m ²	218.21 m ²	-3.31%

Fsh 1D	70.60%	66.51%	-6.14%
Fsv 1D	29.40%	33.48%	12.18%

AD* :Alta Densidad

MD** :Media Densidad

BD***:Baja Densidad