

Propuesta de metodología para la calificación bio-ambiental de espacios verdes mediante coeficientes ecofisiológicos ¹

Offer of methodology for the bio-environmental qualification of green spaces by ecophysiological coefficients

Sergio A. Carrieri ²
Ramón A. Codina † ²
Enrique Manzano ²
Eugenia Videla ²

María Juliana Vespa ³
Cecilia Adriana Kocsis ³
Marianela Ferro Malecki ³
Sonia Fioretti ²

Originales: Recepción: 18/09/2008 - Aceptación: 28/10/2008

RESUMEN

Uno de los mayores problemas que enfrentan las urbes modernas es su crecimiento horizontal en base a cemento y asfalto, cubriendo grandes extensiones. Su resultado es un importante incremento de la temperatura llamado efecto "isla de calor", aspecto de particular importancia en años venideros por el creciente calentamiento global, a lo cual se añade la contaminación por gases y partículas. Las áreas destinadas a mitigar parcialmente estos efectos son los denominados espacios verdes, los cuales representan una mancha en el mapa. Sin embargo, su impacto termodinámico a nivel ambiental desde el punto de vista del confort y calidad de vida humanos puede ser muy variable según como esté diseñado.

Este trabajo pretende establecer una metodología de aplicación en cualquier región, para calificar cuantitativamente el valor de los diferentes tipos de espacios verdes como modificadores ambientales, ya sean ejecutados o a nivel de proyecto. A través de esta metodología se determinan índices o coeficientes regionales objetivos y de sencilla aplicación. Para desarrollar estos índices, a los espacios verdes se aplican, adaptados, principios de la termodinámica de superficies húmedas y de la ecofisiología.

ABSTRACT

One of the greatest problems of the modern large cities is their horizontal growth on the basis of cement, covering great extensions. Its results in an important increase of temperature. It is called effect "heat island". It is too adds to the contamination by gases and particles. The areas destined to partially mitigate these effects are the denominated green spaces, which represent a spot in the map. Respect to the comfort and quality of life, its impact can be variable according to as it is designed.

This work tries to establish a quantitatively methodology to describe the environmental value of these green spaces, made or at level of projects, through objective indices, of simple application and employable in any region of the world where the problematic one arises.

In order to develop these indices, principles of the thermodynamics of humid surfaces and the ecofisiology were adapt at the green spaces. By mathematical procedures and physiological concepts it calculate regional indices of direct application in the evaluation of green spaces projects.

1 Proyecto 06/A229. Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado. UNCuyo.

2 Docentes e Investigadores. 3 Pasantes.

Dpto. de Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. scarrieri@fca.uncu.edu.ar

A través de procedimientos matemáticos y conceptos fisiológicos se concluye en fórmulas para calcular índices regionales de aplicación directa en la evaluación de proyectos. A modo de comprobación de la metodología se determina el valor ambiental comparativo de diferentes tipos de espacios verdes correspondientes al sistema integrado de espacios verdes de la ciudad de Mendoza

As a verification methodology, the comparative environmental indices were determined: four areas of the integrated system of green spaces of the city of Mendoza, Argentina: two seats, two sections of a street and a projected park.

Palabras clave

espacios verdes • calidad ambiental • ambiente urbano • paisajismo • calidad de vida

Keywords

green spaces • environmental quality • urban atmosphere • landscape • quality of life

INTRODUCCIÓN

Confort y clima

El efecto "isla de calor" en ambientes urbanos modernos es uno de los serios problemas que enfrentan las ciudades en todo el mundo. Los especialistas estudian las formas de mitigar tal fenómeno que se agrava por el llamado "calentamiento global", con pronóstico crítico para mediados de siglo. Por tales motivos, se coincide en la necesidad urgente de incrementar la superficie urbana de los espacios verdes públicos.

El confort humano es un concepto subjetivo que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones del ambiente que lo rodea son las adecuadas para la actividad que desarrolla. Muchos son los factores intervinientes: ruido, iluminación, percepción estética, etc. Entre los factores más importantes cabe señalar que se ha determinado que la mayoría de la gente se siente confortable cuando la sensación térmica oscila entre los 21 y 26°C y la humedad relativa entre 35 y 70%, con un entorno agradable.

En este trabajo se hace referencia al manejo de variables microclimáticas en ambientes urbanos y semi-urbanos a través de los espacios verdes (EV), para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Estado actual de conocimientos sobre el tema

Desde el advenimiento de la llamada "Era Industrial" y su consecuente efecto de contaminación y aumento en el tamaño y densidad poblacional de las ciudades, diversos foros mundiales han analizado la influencia negativa sobre la salud y calidad de vida de los habitantes. La mayoría de estos foros hace hincapié en la polución derivada de la actividad humana y las formas de atenuarla.

La alarmante situación desembocó en la "Conferencia de Estocolmo", Suecia (1972), aunque ya antes hubo otras alertas, por lo que las Naciones Unidas convocaron

a una "Conferencia hábitat" en Vancouver, Canadá (1976), con el objetivo de analizar el problema del futuro de los asentamientos humanos. Desde entonces, el tema ha sido tratado en numerosas oportunidades y entre las muchas propuestas resalta la necesidad de incrementar la superficie de EV en las ciudades actuales, promoviendo una alta densidad de ellos en las previsibles zonas de ampliación.

El efecto benéfico de los EV (espacios verdes) es considerado desde diversos aspectos, principalmente referidos a la disminución de la densidad edilicia (mayor área libre), a la absorción y adsorción de elementos contaminantes sólidos y gaseosos por parte de los vegetales y a la producción de oxígeno y consumo de CO₂ vía fotosíntesis, entre otros.

Contardi (3) considera diferentes tipos de EV según su cualidad para producir beneficios ambientales. Destaca la contaminación atmosférica como factor principal que se debe mitigar en las ciudades modernas y propone la elaboración de índices cuyo parámetro sea el "volumen vegetal purificador". Por primera vez se habla de EV tridimensionales en los que el volumen de los vegetales constituyentes está en relación directa con el efecto descontaminante y propone un aumento de la proporción de plantas de follaje persistente para que en invierno también se perciba su efecto.

Mc Pherson *et al.* (9) proponen emplear el índice de área foliar (IAF) para evaluar la importancia de la vegetación en zonas urbanas, "debido a que muchas funciones ambientales están directamente relacionadas con la superficie foliar". Además del efecto descontaminante de las hojas, introducen el concepto de reducción de la temperatura ambiental por efecto de la transpiración de la superficie foliar.

IAF = sumatoria de las superficies de todas las hojas de un vegetal,
dividido por la superficie de la proyección vertical de la copa.

Codina (2) realiza una propuesta específica para cuantificar el valor ambiental de las especies vegetales, profundizando el análisis y elaborando un índice por especie o comunidad vegetal homogénea y metodologías de cuantificación. Considera el volumen del vegetal como parámetro directo para cuantificar el beneficio ambiental del vegetal, afectado por coeficientes de corrección que contemplan IAF, rugosidad, ubicación urbana, estado sanitario, tiempo útil (años), período fenológico activo (caducidad), impacto estético, entre varios otros. Este índice es el más completo y detallado: introduce por primera vez el valor estético de las especies, aunque continúa priorizando el efecto descontaminante.

Todas estas propuestas contemplan principalmente aspectos referidos a minimizar los efectos de la degradación ambiental derivada de la contaminación y su consecuencia sobre la salud humana. Ninguna hace referencia al confort humano o sensación de bienestar en los EV, aspecto pocas veces valorado en las concepciones o proyectos inmobiliarios o urbano-paisajísticos.

La Geofísica y la Ecofisiología Vegetal (8) aportan fundamentos teóricos referidos a balances energéticos en comunidades vegetales y superficies que se pueden adaptar a espacios verdes.

Formulación y fundamentación del problema

Actualmente, en urbanismo, a pesar de existir valiosas propuestas, se emplean como parámetros de cuali/cuantificación de espacios verdes públicos índices tales como porcentaje de m² de EV/superficie de ciudad, o m² de EV/habitante, entre otros similares. Estos índices plantean relaciones cuantitativas en las que sólo se considera la superficie involucrada sin calificar el tipo de espacio verde ni sus elementos constitutivos o sus proporciones (árboles, arbustos, césped, caminos, explanadas, edificaciones internas). Según este criterio, una plaza seca con unas pocas plantas es considerada un espacio verde. Se asume, intuitivamente, que por el solo hecho de ser un espacio verde provee la condición de superficie ambientalmente favorable, desconociendo que su influencia resulta muy variable según cómo esté planificado. Este aspecto es de particular importancia en zonas con climas naturalmente críticos al confort, con largos veranos de altas temperaturas en clima árido, tal como el de Mendoza.

El desafío es establecer pautas para la planificación de espacios verdes públicos que orienten a los paisajistas o diseñadores a través de índices que deben ser tenidos en cuenta en la etapa de la selección de las especies, y que garanticen que ese futuro EV o remodelación resulte adecuado para satisfacer las necesidades ambientales de la ciudad o región, independientemente del gusto, estilo o moda del momento. Es decir, determinar el valor ambiental de las distintas alternativas de espacios verdes antes de tomar decisiones o establecerlo en los pliegos de condiciones de convocatorias públicas a concurso de proyectos.

Hipótesis de trabajo

Cabe señalar que: a) conociendo los principios termodinámicos que explican y miden la transformación de la luz solar en calor por parte de los distintos tipos de superficie que forman una ciudad o espacio verde y b) reconociendo el fenómeno de la evapotranspiración de las superficies vegetadas como un proceso medible y responsable de ser el único parámetro que cuantificado puede indicar las capacidades depurativas y moderadoras del ambiente, ya que su valor involucra superficie foliar y los parámetros climáticos que más inciden en la sensación de confort urbano como temperatura, viento, humedad atmosférica, entre otros, c) es posible interrelacionar conceptos y valores termodinámicos, eco-fisiológicos y paisajísticos cuyo resultado sean parámetros o índices que permitan determinar el "potencial ambiental" de zonas urbanas, proyectos inmobiliarios o de espacios verdes y con ellos acceder a su comparación objetiva para la toma de la mejor decisión urbanística.

MATERIAL Y MÉTODO

La propuesta consta de dos etapas:

- A. Fundamentación y desarrollo de la metodología para su entendimiento y aplicación en cualquier lugar del mundo.
- B. Aplicación práctica del método e índices resultantes para empleo directo en Argentina y comparación de los resultados en espacios verdes públicos seleccionados de Mendoza.

Para desarrollar la metodología se revisó la bibliografía referida a ecofisiología y a termodinámica de superficies secas y húmedas, adaptando sus principios a los espacios verdes. Se recolectaron los datos locales de irradiación solar y evapotranspiración de los distintos tipos de cultivo. Se realizó la búsqueda bibliográfica de datos de albedo de las superficies más comunes de encontrar en espacios verdes, verificándose aquellas posibles con luxómetro Gossen. A través de procedimientos matemáticos y conceptos fisiológicos y paisajísticos se concluyó en fórmulas para calcular índices regionales de aplicación directa en la evaluación de proyectos y/o situaciones territoriales.

Para la aplicación práctica de la metodología se realizó un relevamiento de los siguientes espacios verdes a diagnosticar y comparar desde el punto de vista de su eficiencia ambiental: Plazas España e Italia, Parque Central, Parque General San Martín, Calles públicas: Montevideo y Rivadavia. Esta información se empleó para obtener los índices reales desarrollados en la etapa anterior.

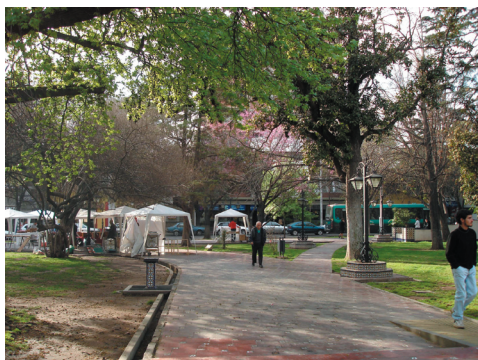
Plazas: España (10400 m²) e Italia (10100 m²)

Fueron seleccionadas por presentar un diseño muy típico y representativo de las plazas del lugar, en este caso ciudad de Mendoza.

Empleando cinta métrica, clinómetro óptico y fotografía aérea se procedió a:

- Realizar un plano de relevamiento de las especies y sus tamaños.
- Determinar la superficie de caminos y senderos y su material de construcción.
- Determinar las superficies de caminos o construcciones debajo de árboles y expuestas al sol.
- Determinar la superficie de prados encespados debajo de árboles y expuestos al sol.

Mediante la fotografía aérea se trazó un bosquejo de las plazas. *In situ* se identificaron las especies, se relevaron alturas y posición y se midió superficie y posición de los caminos. Se completó con fotografía aérea midiendo las superficies cubiertas y expuestas al sol.



Plaza España



Plaza Italia

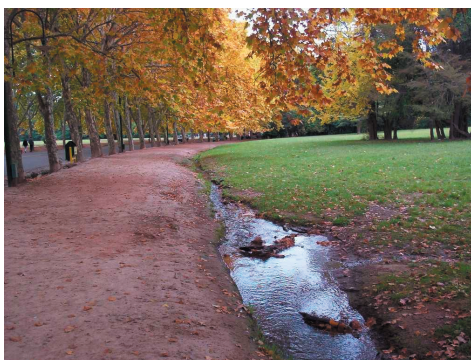
Parque Central (83062,07 m²)

Con diseño moderno, fue elegido como ejemplo de cálculo del valor ambiental sobre un proyecto, dado que se trata del caso más reciente y de envergadura de concurso público de anteproyectos. En base a los planos del proyecto ganador del concurso de anteproyectos correspondiente al sector NO (Municipalidad de Mendoza, mayo de 2000), se midieron los diferentes tipos de superficies planificadas, tomando las especies y tipos de vegetación de las especificaciones técnicas.



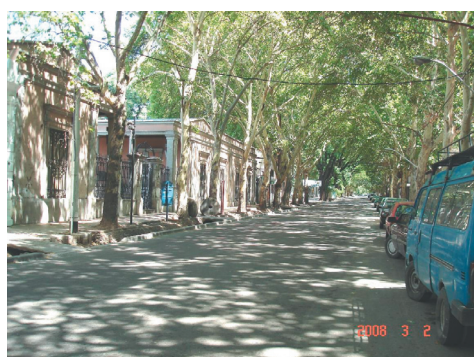
Parque General San Martín

Elegido por su representatividad en el estilo apaisado tradicional. Empleando fotografía aérea se determinaron y midieron los diferentes tipos de superficie que lo componen. A través de relevamiento *in situ* se identificaron los tipos de vegetación y se completó la planimetría.



Calles públicas: Montevideo y Rivadavia

Se seleccionaron dos casos de calles por representar el tipo de superficie de mayor presencia porcentual del sistema integrado de espacios verdes del Gran Mendoza. Se eligió la cuadra N° 500 al 600 de la calle Montevideo, con arbolado de canopia continua (superficie total vereda-cuneta-calzada = 2361 m²) y la cuadra 500 al 600 de la calle Rivadavia (superficie total vereda-cuneta-calzada = 1966 m²), con arboleda deficiente de canopia discontinua; se midieron *in situ* los tipos de superficie correspondientes: asfalto expuesto al sol, asfalto a la sombra, vereda expuesta al sol y a la sombra.



Montevideo



Rivadavia

A. Fundamentación y desarrollo de la metodología para la calificación bio-ambiental de espacios verdes

Fundamentación teórica

De modo muy simple puede decirse que el balance calórico de una superficie urbana está determinado por una fuente de energía que es el sol. Esta energía, en forma de radiación lumínica, incide sobre la superficie de la tierra. Una parte, llamada albedo, es reflejada al cielo en proporción variable, según su color y textura, siendo eliminada del sistema; el resto es absorbida. De ahí resulta que en superficies de mampostería la totalidad de lo absorbido es devuelta en forma de calor, elevando la temperatura ambiente.

En superficies vegetadas o húmedas una alta proporción de la energía absorbida es consumida en el proceso de evaporación sustrayéndola del aumento de la temperatura. Este último aspecto es considerado esencial para recomendar espacios verdes en la atenuación del efecto "isla de calor" urbano. En superficies cementadas, determinando los valores de radiación solar y albedo se puede calcular por simple resta cuál es su aporte calórico al sistema. En superficies vegetadas se agrega la evaporación del agua (evapotranspiración) a la ecuación y se determina su propio aporte calórico.

La evapotranspiración (ET) es un valioso parámetro indirecto, utilizable para determinar la capacidad de una superficie vegetada para mejorar ambientalmente las condiciones de un lugar y su entorno ya que su valor depende directamente de la superficie foliar y volumen del vegetal (factores determinantes en la absorción de contaminantes) (2, 3, 9) y expresa la cantidad de agua liberada al ambiente y las calorías absorbidas en el proceso.

Desde el punto de vista termodinámico, un EV debe cumplir la función de intercambiador de calor disminuyendo la temperatura del lugar (confort). Según cómo esté diseñado, lo hará con mayor o menor eficiencia. Midiendo esa "capacidad refrigerante" se estará en condiciones de comparar alternativas de proyectos que mejor mitiguen el efecto "isla de calor". Según su albedo, las superficies secas también participan en diferente grado en el calentamiento, atenuando o acentuando la emisión de calor.

Mientras menor sea la cantidad de calor liberada por una superficie de espacio verde, mayor será el calor absorbido en el proceso evapotranspiratorio y mayores serán los beneficios ambientales. Este último concepto, calculado en forma de Balance Calórico, es el que se empleará como variable para la confección de índices y coeficientes con los cuales caracterizar el valor ambiental de espacios verdes o superficies vegetadas.

Termodinámica de los espacios verdes

Un EV es, básicamente, una combinación de superficies con árboles y arbustos de diversos tipos, césped, espacios cementados (pisos, construcciones) y sus combinaciones, cada una con diferente dinámica respecto de la incidencia de los rayos solares y la emisión o absorción de calor.

Para determinar el balance calórico se debe cuantificar la energía recibida y los mecanismos de disipación del calor generado y absorbido por parte de cada uno de los tipos de superficies involucradas.

La fuente de energía que origina todos los procesos térmicos y lumínicos en la biosfera proviene del sol (energía solar), en forma de luz. Su valor (R) es constante a nivel estratosférico y se puede conocer por tablas.

La radiación solar, tanto estratosférica, incidente y absorbida, puede ser expresada en su equivalente de mm altura de agua que puede evaporar por día, con lo cual se unifican unidades al permitir relacionarla con la evapotranspiración, que también se expresa en mm/día.

Hay tablas que ofrecen los valores de R (radiación estratosférica) expresada en mm de evaporación de agua por día, para diferentes latitudes, por ejemplo en la Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería Tomo II. Riego y Drenaje. Fascículos 4 - 3 - 2, pág 32. (4).

Tabla 1. Radiación extraterrestre (R) expresada en evaporación equivalente (mm/día) para diferentes latitudes.

Table 1. Extraterrestrial solar radiation (R) expressed in equivalent evaporated water (mm/day) for different latitudes.

Latitud	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun
60°	1,2	2,9	7,2	10,7	15,2	17,4	16,6	12,7	8,4	4,3	1,9	0,8
57°	1,8	3,6	8,0	11,0	15,4	17,5	16,7	13,2	8,5	4,9	2,3	1,4
55°	2,3	4,1	8,8	11,4	15,7	17,6	16,8	13,6	8,6	5,3	2,6	1,8
52°	2,9	4,8	9,2	12,0	15,8	17,7	17,0	13,9	10,0	6,0	3,5	2,1
50°	3,3	5,2	9,5	12,5	16,0	17,8	17,1	14,1	10,5	6,6	4,1	2,8
47°	4,0	5,8	10,2	12,7	16,0	17,8	17,2	14,2	11,2	7,7	4,8	2,9
45°	4,8	6,9	11,0	12,9	16,0	17,8	17,3	14,6	11,8	8,2	5,5	3,1
42°	5,3	7,2	11,2	13,3	16,3	17,8	17,3	15,0	12,0	8,5	6,0	4,2
40°	5,6	7,5	11,5	13,8	16,5	17,8	17,3	15,2	12,2	8,8	6,4	5,1
37°	6,4	8,2	12,0	13,9	16,5	17,7	17,3	15,4	12,3	9,8	7,1	6,0
35°	7,6	9,4	12,8	14,3	16,6	17,6	17,3	15,5	12,7	10,6	8,2	6,9
33°	7,6	9,4	12,8	14,3	16,6	17,6	17,3	15,5	12,7	10,6	8,2	6,9
30°	7,8	9,6	13,1	14,8	16,7	17,6	17,3	15,8	13,6	10,8	8,7	7,4
27°	8,9	10,7	13,6	14,9	16,5	17,3	16,9	15,7	13,6	11,5	9,5	8,3
25°	9,6	11,1	13,8	14,9	16,3	16,8	16,8	15,5	13,7	12,0	10,0	8,7
22°	10,0	11,4	13,9	15,0	16,2	16,5	16,6	15,8	14,0	12,2	10,5	9,2
20°	10,3	11,8	14,0	15,1	16,2	16,5	16,5	15,8	14,3	12,6	10,9	9,8

Fuente: Sánchez San Román (12)

Cálculo de la radiación solar incidente (Ro)

No toda la radiación estratosférica llega a la superficie de la tierra: una parte es reflejada por la atmósfera exterior, llegando al terreno del EV o área problema con un valor (Ro) que depende del lugar, de la latitud y de la época del año. Para cada lugar, la radiación solar que llega a la superficie se calcula del siguiente modo:

$$R_o = R (0,29 \cos y + 0,52 n/N)$$

donde:

R_o = radiación solar incidente en el lugar

R = radiación solar estratosférica (se obtiene de tablas)

y = latitud del lugar

n = número de horas de sol reales

N = número de horas de sol teóricas

n/N siempre es menor a la unidad, para considerar la situación potencial de mayor insolación posible

Por ejemplo, para el oasis norte de Mendoza ($\pm 33^\circ$ latitud sur) y en diciembre (se considera diciembre por ser el mes de mayor irradiación), la radiación solar incidente (R_o), es:

$$R_o = R (0,29 \times 0,84 + 0,52 \times 1) = 17,6 \text{ mm/día} \times 0,7636 = 13,43 \text{ mm/día}$$

Es decir, 13,4 mm/día es la radiación equivalente, expresada en mm de evaporación de agua, que llega a la superficie, en Mendoza, en diciembre.

Tabla 2. Radiación solar equivalente (mm/día) que llega a la superficie terrestre en Mendoza (33° S), cada mes.

Table 2. Equivalent solar radiation (mm/day) in Mendoza (33° S), every month.

Mes	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun
R	7,6	9,4	12,8	14,3	16,6	17,6	17,3	15,5	12,7	10,6	8,2	6,9
R_o	5,8	7,2	9,8	10,9	12,7	13,4	13,2	11,8	9,7	8,1	6,3	5,3

Cálculo de la radiación solar absorbida por las superficies (R_N)

En toda superficie, de la luz incidente en ella una parte es reflejada (lo que permite verla) y el resto es absorbida (13). La porción absorbida (R_N) se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_N = R_o \times (1 - \alpha)$$

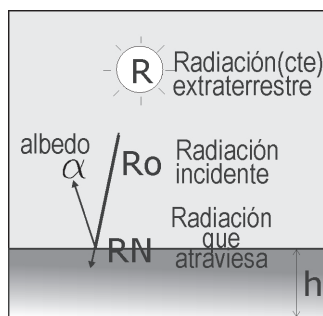
donde:

R_N = radiación absorbida por las diferentes superficies

R_o = radiación solar incidente en la superficie

α = albedo de la superficie considerada

$1 - \alpha$ = proporción porcentual de radiación solar que es absorbida



Los valores de albedo que se ofrecen a continuación corresponden a datos bibliográficos promediados. Estos valores se verificaron con luxómetro Gossen, presentando dispersión por la variabilidad entre muestras de cada tipo de superficie. A los efectos del objetivo del presente trabajo, de obtener valores comparativos, se consideran con suficiente precisión.

R , R_o y R_N son radiación de onda corta (luz en todo el espectro). Al atravesar la superficie, se transforma en radiación de onda larga (calor), excepto que sea transparente y en tal caso una parte lo atraviesa como luz.

Tabla 3. Albedo de los tipos de superficie más comunes en espacios verdes.**Table 3.** Albedo of more common types of surface in green spaces.

Tipo de suelo	Albedo (α)	(1 - α)	Tipo de suelo	Albedo (α)	(1 - α)
Agua libre, promedio	0,04	0,96	Chepica seca (<i>C. dactylon</i>)	0,43	0,57
Arcillas húmedas	0,05	0,95	Desierto	0,25	0,75
Arcillas secas	0,06	0,94	Hormigón/Cemento nuevo	0,40	0,60
Arenas claras	0,37	0,63	Hormigón/Cemento usado	0,20	0,80
Arenas oscuras	0,33	0,67	Lechugas	0,22	0,78
Asfalto nuevo, oscuro	0,07	0,93	Nieve	0,85	0,15
Asfalto viejo	0,18	0,82	Rocas/piedras	0,23	0,77
Bosque pináceas puras	0,12	0,88	Suelo negro/turba	0,07	0,93
Bosques frondosos puros	0,18	0,82	Suelo agrícola	0,20	0,80
Bosques heterogéneos (prom.)	0,22	0,78	Tierra seca	0,22	0,78
Césped (<i>L. perenne</i> de 15 cm)	0,23	0,77	Turba mojada	0,05	0,95
Césped típico seco	0,19	0,81	Zonas urbanizadas (prom.)	0,20	0,80
Césped típico verde	0,26	0,74	Superficie negra (teórica)	0,00	1,00
			Albedo promedio	0,22	0,78

Fuente: Alberto (1); Wikipedia (13).

Las superficies acuáticas constituyen un caso especial ya que el ángulo de incidencia de la luz afecta significativamente los valores de α . Para el albedo se considera el ángulo de inclinación del sol según la latitud del lugar. Para la latitud de Mendoza, al medio día del 21 de diciembre, el sol llega con un ángulo de $78,8^\circ$ desde la horizontal y el 21 de junio con $31,8^\circ$, estableciéndose el α por interpolación.

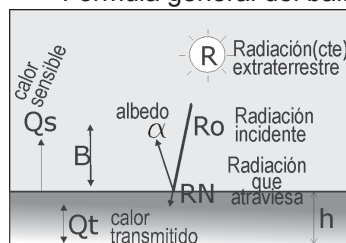
Tabla 4. Albedo de superficies acuáticas según la inclinación del sol en el horizonte (%).**Table 4.** Albedo of aquatic surfaces according to the inclination of the sun in the horizon (%).

Inclinación del sol	1E	5E	10E	20E	30E	31,8° Mza. Inv.	40E	50E	78,8° Mza. Ver.	90°
Albedo (α)	89,6	58,6	35	13,6	6,2	5,7	3,5	2,5	2,2	2

Fuente: Wypych, S.; Bokwa, A. (15)

Cálculo simplificado del balance térmico de los diferentes tipos de superficies

Fórmula general del balance para superficies húmedas:



Termodinámica de superficies secas

$$B = RN - (Qs + QL + Qt) \quad (\text{Larcher, 8})$$

donde:

B = Balance, almacenamiento o pérdida de calor (calentamiento o enfriamiento de la superficie)

RN = radiación neta absorbida por la superficie

Qs = flujo de calor sensible (emisión)

QL = flujo de calor latente, que en el caso de los vegetales es la evapotranspiración.

Qt = flujo de calor transmitido al interior de la superficie

Aplicando esta fórmula se obtiene un valor determinado si se toma un tiempo corto (minutos o pocas horas); en tal caso, el balance B puede resultar positivo (el cuerpo se calienta) o negativo (el cuerpo se enfría). En un EV, si se toma un día (24 horas) el balance resulta cercano a cero y en un año, el balance resulta cero ya que toda la energía llegada desde el sol se devuelve al ambiente de una u otra forma. (No se considera el consumo de energía por fotosíntesis, porque a los efectos del presente resulta poco significativo, aproximadamente 1%).

En tal caso, si $B = 0$: $0 = RN - (Qs + QL + Qt) \therefore RN = Qs + QL + Qt$

En superficies secas (cemento, mosaico, piedra), RN ingresa al cuerpo y se transforma en radiación de onda larga (infrarrojo). Una parte es devuelto inmediatamente al ambiente, en forma de "calor sensible" (Qs), calentando el aire y la otra parte o "calor transmitido" (Qt) es conducido al interior calentando las primeras capas.

Para un Δt (tiempo corto de minutos o pocas horas) la relación es:

$$RN = Qs + Qt$$

Si se toma un tiempo suficientemente largo, mayor a un día, que son los tiempos que interesan a los efectos del balance propuesto, el calor transmitido no permanece en el cuerpo sino que es emitido como calor sensible, por lo que $Qt = 0$ y la relación queda reducida a:

$$RN = Qs$$

Este calor sensible se percibe en la parte cementada de los EV durante el día por la fuerte irradiación proveniente desde el suelo, o en las primeras horas de la noche, comparándola con las superficies sombreadas o encespadas cuyo valor es menor.

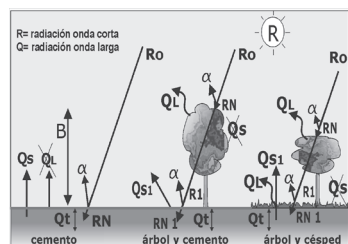
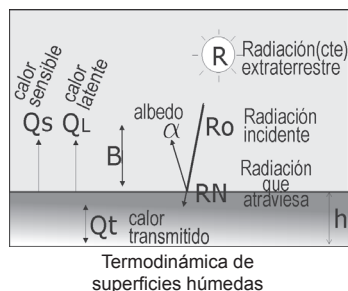
En superficies húmedas, (superficies acuáticas, suelo regado) la parte de energía que es absorbida (RN) se devuelve al ambiente en forma de calor sensible (Qs) y calor latente (QL).

El calor latente es el agua líquida de la superficie húmeda que absorbiendo calor cambia al estado de vapor sin modificar sustancialmente la temperatura del sistema. Para superficies húmedas la relación es:

$$RN = Qs + QL + Qt$$

En EV, los vegetales que los componen resultan un caso especial de superficies húmedas, si se considera que son organismos "poiquilotérmicos" (8), es decir, su temperatura se mantiene similar a la del aire o inferior, con adecuada provisión hídrica.

A mayor calor o mayor energía solar, mayor será la transpiración para compensar el balance energético interno y mayor será la cantidad de calor transformado en "calor latente" cedido en forma de vapor. Este calor latente no modifica la temperatura de su entorno. Se puede decir que la vegetación captura la radiación solar antes de llegar al suelo y la anula en forma de vapor (transpiración), mitigando los aumentos de la temperatura ambiente.



Para superficies húmedas no existiría Q_t (calor transmitido), porque implicaría aumento de su temperatura (excepto en situaciones de estrés severo) y ya se ha visto que son "poiquilotérmicos".

En realidad, una parte de la radiación recibida por las plantas es difundida inmediatamente al ambiente como calor sensible arrastrado por el viento, que es el Q_s vegetal, pero que resulta difícil de cuantificar. Cuando el propósito no es un análisis ecofisiológico sino paisajístico, en el que se busca el balance térmico global, este dato queda englobado en un término que se incluirá en la fórmula y que se llamará R_1 . En tal caso y para la vegetación, la fórmula es la siguiente:

$$RN = QL + R1$$

En los vegetales, la energía latente (QL) es la que se disipa por evapotranspiración (E_{Tr}), luego:

$$QL = E_{Tr}$$

por lo tanto $RN = E_{Tr} + R1$

Donde R_1 = porción de radiación solar que no es absorbida por las hojas, pasando a través y entre ellas, e incidiendo sobre la superficie inmediata inferior (mampostería, césped u otras plantas). En los cálculos R_1 tendrá un valor anormalmente alto porque incluye el calor sensible irradiado por los vegetales. Para las superficies inferiores vegetadas, R_1 es la nueva pero atenuada radiación incidente, de la cual una parte es reflejada (α_2 de la nueva superficie) y otra parte es absorbida ($1 - \alpha_2$) pudiéndose repetir el cálculo las veces que sea necesario, según los estratos vegetales atravesados:

$$R1 = QL + R2$$

La última superficie inferior, que será mampostería o la tierra de plantación, se comporta como superficie seca y a los efectos del cálculo se aplica la relación correspondiente a ellas (la parte húmeda de la tierra está incluida en la evapotranspiración), o sea: $R_2 = Q_s$. A los efectos del cálculo del balance térmico, siempre una porción de la radiación solar inicial (R_0) llegará al suelo (tierra, cemento o edificaciones), transformándose totalmente en calor sensible.

Ya se tienen los términos simplificados y la forma de calcularlos, necesarios para el balance térmico de cada tipo de superficie de EV. Los datos básicos son: Radiación solar (R), albedo de las superficies (α) y evapotranspiración potencial (E_{To}). A partir de ellos se calculan los demás datos necesarios: $RN = R_0 \times (1 - \alpha)$, datos que se obtienen de tablas; $QL = E_{Tr}$, calculada a partir de E_{To} , disponible en organismos especializados, $Q_s = RN$; R_1 se despeja conociendo los otros términos de la fórmula.

Cálculo de la evapotranspiración real o de cultivo (E_{Tr}) en EV

En agricultura la E_{Tr} (consumo de agua) se estima multiplicando la evapotranspiración de referencia, E_{To} , por un índice de ajuste correspondiente al lugar, a la especie, época del año y sistema de conducción del vegetal analizado, que se denomina coeficiente de cultivo. $E_{Tr} = E_{To} \times K_c$

A los efectos del presente estudio, se agrupan las especies en estratos básicos, por ejemplo árboles chicos y grandes, asignándoles el Kc de frutales y forestales de similar porte, sin desvirtuar significativamente el objetivo de comparar tipos de superficies arboladas (tabla 5).

Tabla 5. Valores de Kc equivalentes para especies ornamentales en Mendoza.

Table 5. Values of equivalent Kc for ornamental species in Mendoza.

Mes	ETo	Enredadera caducifolia	Árbol chico caducifolio	Árbol chico perennifolio	Árbol grande caducifolio	Árbol grande perennifolio	Anual inv.	Anual ver.	Césped típico
Jul	1	0,40	0,40	0,65	0,40	0,50	0,64	-	0,80
Ag	1	0,44	0,46	0,67	0,52	0,56	0,68	-	0,80
Set	1	0,53	0,65	0,68	0,94	0,66	0,80	-	0,81
Oct	1	0,65	0,86	0,69	1,22	0,80	0,87	-	0,83
Nov	1	0,70	0,95	0,70	1,25	0,96	0,82	0,70	0,85
Dic	1	0,70	0,95	0,70	1,25	1,15	-	0,95	0,85
En	1	0,70	0,94	0,70	1,25	1,10	-	1,14	0,85
Feb	1	0,68	0,90	0,70	1,22	1,10	-	1,02	0,85
Mar	1	0,60	0,80	0,70	1,00	0,90	-	-	0,84
Abr	1	0,47	0,74	0,70	0,64	0,80	0,64	-	0,81
May	1	0,40	0,40	0,68	0,40	0,66	0,64	-	0,80
Jun	1	0,40	0,40	0,65	0,40	0,58	0,64	-	0,80

Fuente: INFOAGRO (7); Morábito (10); Morábito *et al.* (11).

Evapotranspiración de coberturas cespitosas bajo cubierta arbórea . Kc

Para cultivos consociados, que en el caso de EV consiste en superficies encespadas, arbustos bajos o cubresuelos creciendo bajo cubiertas arbóreas, al no encontrar datos locales para una conducción de cultivo tan particular, se consideró deducir el Kc del estrato inferior herbáceo por la diferencia de ETr entre cultivos de frutales con y sin malezas (FAO 24), promediado para los meses de mayor insolación. De esta manera es posible aproximar el valor, el cual deberá ser corroborado con determinaciones específicas.

Efectuando los cálculos se determina que el Kc del césped, para cada mes o época, debe afectarse por un coeficiente $C = 0,26$ para calcular su evapotranspiración real cuando se cultiva debajo de cubiertas arbóreas. Para la ETr del césped bajo cubierta arbórea se considera:

$$ETr = ETo \times Kc \times 0,26$$

Cálculo del balance térmico en superficies de espacios verdes

Los EV constituyen espacios complejos, con diversos tipos de superficies y un conjunto de asociaciones vegetales de diferentes alturas, todos los cuales se superponen en variadas combinaciones. A los efectos de simplificar el balance térmico, se agrupan en los tipos más comunes, considerando el césped, vegetación baja o rastrera y enredaderas sobre muros, de comportamiento similar desde el punto de vista evapotranspiratorio.

Cada uno de los tipos de superficie reciben radiación solar y la devuelven al ambiente en forma de calor sensible y calor latente, en diferente proporción. Mientras mayor sea el porcentaje de calor latente que emitan, mayor será la cantidad de calor sustraído al ambiente y más favorable será para épocas de calor al emitir menos calor sensible, atenuando el efecto "isla de calor".

Calor latente y calor sensible pueden ser expresados en su equivalente de mm/día evaporados o en megacalorías (Mcal) por día por m² emitidos. La conversión se realiza dividiendo los mm/día por 1,7.

$$\text{mm/día} / 1,7 = \text{Mcal/día/m}^2$$

*Fórmulas para determinar calor sensible (Qs) y calor latente en los tipos de superficie**

- Mampostería y asfalto al sol directo

$$\begin{aligned} Q_s &= R_o \times (1 - \alpha) \\ Q_L &= 0 \end{aligned}$$

donde:

R_o = radiación solar incidente

α = albedo correspondiente al tipo de mampostería

En superficies de cemento expuestas directamente al sol, el calor sensible producido es la radiación incidente menos la radiación reflejada y QL = 0, por ser una superficie seca.

- Mampostería y asfalto a la sombra de árboles grandes o chicos

$$\begin{aligned} Q_s &= \{R_o \times (1 - \alpha_1) - E_{Tr}\} \times (1 - \alpha_2) \\ Q_L &= E_{Tr} \end{aligned}$$

donde:

R_o = radiación solar incidente

α₁ = albedo de la cubierta vegetal

α₂ = albedo de la superficie de mampostería o asfalto

E_{Tr} = evapotranspiración de los árboles, en el tamaño considerado, diferente para grandes y chicos

- Césped, arbustos bajos y floríferas, expuestos al sol directo
El cálculo es similar al anterior, equivaliendo a tierra sombreada por césped.

$$\begin{aligned} Q_s &= \{R_o \times (1 - \alpha_1) - E_{Tr}\} \times (1 - \alpha_2) \\ Q_L &= E_{Tr} \end{aligned}$$

donde:

R_o = radiación solar incidente

α₁ = albedo del césped

α₂ = albedo de la tierra

E_{Tr} = evapotranspiración del césped

- Césped, arbustos bajos y floríferas, debajo de vegetación mayor (árboles)

En este tipo de superficie combinada, la radiación solar llega atenuada a la tierra, luego de pasar los filtros (reflexión y evapotranspiración) de la cubierta arbórea (R₁) y del césped (R₂). Esta última luz, R₂, es la que, luego de perder intensidad por reflexión (α₃) y a los efectos del balance, ingresa al suelo liberando

* Por razones de espacio se omiten los detalles de desarrollo de las fórmulas.

todo el calor sensible del sistema. Por otra parte, el calor latente será la suma de la evapotranspiración de los árboles y del césped.

$$Qs = \{Ro \times (1 - \alpha1) - ETr(a)\} \times (1 - \alpha2) - ETr(c) \times C \times (1 - \alpha3)$$
$$QL = ETr(a) + ETr(c)$$

donde:

Ro = radiación solar incidente

$\alpha1$ = albedo de la cubierta vegetal superior (árboles)

$\alpha2$ = albedo del césped

$\alpha3$ = albedo de la tierra

ETr(a) = evapotranspiración real de la superficie arbolada

ETr(c) = evapotranspiración real de la superficie de césped

C = coeficiente aplicado para ajustar el Kc del césped a pleno sol pero cultivado a la sombra de árboles (C= 0,26)

- Superficies acuáticas (lagos, estanques)

$$QL = ETo$$
$$Qs = Ro \times (1 - \alpha) - ETo$$

donde:

ETo = evapotranspiración potencial

Ro = radiación solar incidente

α = albedo de la superficie acuática según el ángulo de incidencia

La evaporación en lagos o estanques, de cierto tamaño y profundidad, puede considerarse similar a la ETo.

Estas fórmulas determinan el balance calórico de las superficies y se calculan una sola vez para cada región o territorio; dichos cálculos pueden ser realizados por profesionales idóneos. Los índices y coeficientes que a continuación se desarrollan con los datos antes calculados, resultan de fácil empleo para paisajistas.

Determinación del coeficiente ambiental de los tipos de superficies formadoras de espacios verdes

Un espacio verde público típico es una superficie heterogénea, constituida por un mosaico de distintos tipos de superficies. Cada una de estas superficies ofrece una influencia microclimática individual aportando, positiva o negativamente, una alícuota del valor ambiental del espacio verde completo.

Es posible calcular, para cada superficie, cuánta energía radiante puede capturar en forma de calor latente y cuánta devuelve al ambiente en forma de calor sensible, como una forma de caracterizar su aporte. Se denominará coeficiente ambiental (CA) del tipo de superficie específica a la relación: **CA = 1 - Qs / Ro**

donde:

Qs/Ro = proporción de calor sensible irradiado por la superficie respecto de la radiación total recibida.

1 - Qs / Ro = proporción de energía reflejada más la energía absorbida como calor latente respecto de la radiación total recibida.

El coeficiente CA indica el porcentaje de radiación solar que es sustraída de su capacidad de aumentar la temperatura ambiente para el tipo de superficie considerada. Al ser adimensional puede ser calculado empleando como unidades mm/día o Mcalorías/m²/día, obteniéndose el mismo resultado numérico. (Equivalencia práctica: mm/día/1,7 = Mcalorías/m²/día). Adoptará un valor de CA = 0 cuando Qs = Ro, o sea que toda la radiación solar es transformada en calor y será CA = 1 en la situación ideal que Qs = 0, es decir que toda la radiación solar es utilizada en evaporar agua y nada en emitir calor sensible. Estos CA se calculan una sola vez para cada región, resultando constantes en cuanto no se modifiquen las variables climáticas. A continuación se expone en una tabla el coeficiente ambiental de cada superficie típica de espacios verdes ya calculada con las fórmulas anteriores, para el 21 de diciembre (máxima radiación) en varias localidades representativas de Argentina según latitud y ETo, es decir de aplicación directa.

Tabla 6. Coeficiente ambiental calculado para diciembre, en localidades argentinas.
Table 6. Environmental coefficient for December, in Argentine localities.

Tipo de superficie	Loc	Formosa	Tucumán	La Rioja	Vera Santa Fe	Córdoba	Mendoza Norte	La Pampa	Chubut	Argentina prom.
	Lat	24°58'	26°48'	29°25'	29°28'	31°24'	32°53'	36°37'	44°49'	-
	ETo*	6,3	5,7	6,4	6,6	6,1	6,19	6,4	5,4	6,1
"Sup.húmeda ideal" al sol directo	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Césped c/árboles grandes caducif.	2	0,99	0,93	0,97	0,99	0,95	0,93	0,97	0,90	0,95
Césped c/árboles grandes perennif.	3	0,96	0,91	0,95	0,96	0,93	0,91	0,94	0,88	0,93
Cemento c/árboles grandes caducif.	4	0,87	0,81	0,85	0,87	0,83	0,81	0,85	0,77	0,83
Suelo agríc. c/árboles grandes caducif.	5	0,87	0,81	0,85	0,87	0,83	0,81	0,85	0,77	0,83
Asfalto viejo c/árboles grandes caducif.	6	0,86	0,80	0,85	0,86	0,83	0,80	0,85	0,77	0,83
Césped c/árboles chicos caducif.	7	0,86	0,82	0,85	0,86	0,84	0,82	0,85	0,80	0,84
Cemento c/árboles grandes perennif.	8	0,83	0,77	0,81	0,83	0,79	0,77	0,81	0,74	0,79
Suelo agríc. c/árboles grandes perennif.	9	0,83	0,77	0,81	0,83	0,79	0,77	0,81	0,74	0,79
Césped c/árboles chicos perennif.	10	0,80	0,77	0,80	0,80	0,78	0,77	0,79	0,75	0,78
Asfalto viejo c/árboles grandes perennif.	11	0,82	0,77	0,81	0,82	0,79	0,76	0,81	0,73	0,79
Referencia: <i>Lolium perenne</i> de 15 cm	12	0,78	0,73	0,76	0,78	0,75	0,75	0,76	0,70	0,75
Césped clásico, al sol directo	12	0,74	0,70	0,73	0,74	0,72	0,70	0,73	0,68	0,72
Césped de <i>Cynodon dactylon</i> , al sol	13	0,74	0,70	0,73	0,74	0,72	0,70	0,73	0,68	0,72
Suelo agríc. c/árboles chicos caducif.	14	0,73	0,69	0,72	0,73	0,70	0,68	0,61	0,66	0,70
Cemento c/árboles chicos caducif.	15	0,73	0,69	0,72	0,73	0,70	0,68	0,61	0,66	0,70
Cemento c/árboles chicos perennif.	17	0,65	0,62	0,64	0,65	0,63	0,62	0,64	0,60	0,63
Suelo agríc. c/árboles chicos perennif.	18	0,65	0,62	0,64	0,65	0,63	0,62	0,64	0,60	0,63
Sup. acuáticas al sol directo	19	0,51	0,45	0,50	0,51	0,47	0,45	0,49	0,42	0,48
Arena clara, al sol directo	20	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Tierra seca, al sol directo	21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22
Cemento usado, al sol directo	22	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20
Asfalto viejo, al sol directo	23	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18
Asfalto nuevo, al sol directo	24	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
"Cuerpo negro ideal" al sol directo	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

* Fuente: Chambouleyron (4).

Determinación del valor ambiental urbano de los EV

El valor ambiental es la capacidad de una superficie para modificar el confort de un lugar y su entorno. En el caso de Mendoza se refiere a espacios verdes con tipos de superficies combinadas. Para ese espacio verde complejo también puede calcularse su coeficiente ambiental, al que se llamará Índice Ambiental (IA), que calificará su eficiencia unitaria respecto de una superficie ideal; también afectando la superficie total por ese índice, indicará cuál es la superficie de ese espacio que puede considerarse ambientalmente útil. Esta superficie ambientalmente ponderada será denominada Superficie Ambiental (SA) del espacio verde o área. Su valor dependerá del porcentaje de participación que tenga cada tipo de superficie sobre el total.

Para determinar la SA de un EV primero se debe ponderar la participación ambiental de cada tipo de superficie sobre el total del terreno. Para ello se multiplica cada coeficiente ambiental individual calculado, CA, por el porcentaje de la superficie involucrada. A este valor se lo identificará como Coeficiente Ambiental ponderado, CAP del tipo de superficie.

$$\text{CAP} = \text{CA} \times \% \text{ m}^2/100$$

De la sumatoria de los coeficientes ponderados CAP según su participación en el EV se obtendrá el coeficiente ambiental del espacio verde completo, al que se ha llamado Índice Ambiental (IA), para la época considerada. IA tendrá un valor entre 0 y 1 e indica el porcentaje de la superficie total del espacio verde ambientalmente útil. Los valores extremos, 0 y 1, responden a situaciones hipotéticas ideales. La comparación entre los IA de cada proyecto indicará cuál de ellos resulta más favorable ambientalmente, por unidad de superficie, para la zona o región a la que está destinado y permite determinar si se reduce o aumenta en proyectos de remodelaciones respecto de la situación actual.

$$\text{j CAP} = \text{IA}$$

La SA, para la época considerada, se obtendrá multiplicando el índice obtenido IA por la superficie real del espacio verde, en la unidad que se desee.

$$\text{SA} = \text{IA} \times \text{superficie real}$$

La SA indica la equivalencia en superficie de un espacio verde real respecto de otro ideal con igual tamaño pero con una eficiencia ambiental del 100%, es decir que no emite calor sensible. Por ejemplo se necesitan 2 ha de espacio verde con un IA = 0,5 para tener el equivalente de 1 ha de superficie ambiental (0,5 x 2 ha = 1 ha).

Dado que según el diseño diferentes propuestas de espacio verde tendrán distintos IA, puede darse el caso que un proyecto más pequeño tenga una superficie ambiental mayor que otro más grande y por ello mayor valor urbano.

Propuesta de posible modificación de los índices de espacios verdes urbanos

Para conocer la situación de una región en relación con las necesidades reales de espacios verdes se debería aplicar un índice que refleje fielmente el acontecer, para lo cual se propone reemplazar el dato de "superficie de espacio verde" actual por

el de "Superficie Ambiental" (o término consensuado). Para ello, a la superficie total de espacios verdes de una ciudad se la debería multiplicar por su índice ambiental a los efectos de obtener valores reales y ponderar en consecuencia.

$$\text{Superficie Ambiental Urbana} = \text{Superficie total de EV} \times \text{IA}$$

B. Aplicación práctica de la metodología para la "calificación ambiental" de espacios verdes públicos

A continuación se aplica la metodología a cinco espacios verdes, empleando para ello los índices determinados para Mendoza y los datos de los relevamientos planimétricos correspondientes. A título de ejemplo, en la tabla 7 se muestran los datos de campo para la determinación en dos calles.

Tabla 7. Datos de campo de dos tramos de calles arboladas típicas de Mendoza.
Table 7. Field data of two sections of forested typical streets of Mendoza.

Calle	Sup. total	Asfalto					Vereda (ambos lados)				
		m ²	sombreado m ²	% del total	al sol m ²	% del total	m ²	sombreado m ²	% del total	al sol m ²	% del total
Montevideo	2361	1404	1404	0,59	0,00	0,00	957	957	0,41	0,00	0,00
Rivadavia	1966	846	127	0,06	719	0,37	1120	532	0,27	588	0,30

RESULTADOS

En la tabla 8 (pág. 19) se calcula el Índice Ambiental (IA) en cinco tipos de EV urbanos de Mendoza, Argentina, tomando los valores para diciembre (verano) por ser el más crítico en el aspecto ambiental. Para cada EV se multiplica el coeficiente ambiental del tipo de superficie por el porcentaje en el que interviene.

El resultado es el Coeficiente Ambiental Ponderado CAP. La sumatoria de los CAP indica el IA del EV en estudio.

La misma metodología puede emplearse para calcular el IA de una ciudad o sus partes, ya que los diferentes tipos de superficie son los mismos. Con este procedimiento se han determinado índices ambientales urbanos y suburbanos en Mendoza:

(Unidad Urbana Mendoza UUM = cuadra de 1 ha, vereda, calzada, cuneta, arbolado completo, retiro edilicio).

UUM con 15% de EV públicos de IA = 0,74 (plazas, parque) IA = 0,48

UUM sin EV públicos IA = 0,44

Piedemonte natural mendocino, al oeste de la ciudad capital IA = 0,44

UUM sin arbolado, con 15% de EV público IA = 0,28

UUM sin arbolado ni EV públicos IA = 0,20

Tabla 8. Cálculo del Índice Ambiental (IA) en cinco tipos de EV urbanos de Mendoza.
Table 8. Calculation of the Environmental Index (IA) in five types of green urban spaces of Mendoza.

DATOS	Plaza España		Calle 100% Canopia continua		Calle 33% Canopia continua		Parque Central		Parque General San Martín		
	CA	% sup	CAP	% sup	CAP	% sup	CAP	% sup	CAP	% sup	CAP
Césped c/árboles grandes caducif.	0,93	0,12	0,11	-	0,00	-	0,00	0,28	0,26	0,18	0,17
Césped c/árboles grandes perennif.	0,91	0,11	0,10	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,16	0,15
Cemento c/árboles grandes caducif.	0,81	0,10	0,08	0,59	0,48	0,27	0,22	0,07	0,06	0,00	0,00
Suelo c/árboles grandes caducif.	0,81	0,01	0,01	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,01	0,01
Asfalto c/árboles grandes caducif.	0,80	-	0,00	0,41	0,33	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,01
Césped c/árboles chicos caducif.	0,82	0,28	0,23	-	0,00	-	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
Cemento c/árboles grandes perennif.	0,77	0,10	0,08	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	0,00
Suelo c/árboles grandes perennif.	0,77	0,01	0,01	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,02	0,02
Césped c/árboles chicos perennif.	0,77	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,14	0,10
Asfalto c/árboles grandes perennif	0,76	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	0,00
Césped clásico, al sol directo	0,70	0,05	0,04	-	0,00	-	0,00	0,23	0,16	-	0,00
Césped de "chepica", al sol directo	0,70	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,34	0,24
Cemento c/árboles chicos caducif.	0,68	0,10	0,07	-	0,00	-	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Superficies acuáticas al sol directo	0,45	0,01	0,00	-	0,00	-	0,00	0,09	0,04	0,05	0,02
Arena clara, al sol directo	0,37	0,01	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
Cemento usado, al sol directo	0,20	0,10	0,02	-	0,00	0,30	0,06	0,19	0,04	0,02	0,00
Asfalto viejo, al sol directo	0,18	-	0,00	-	0,00	0,37	0,07	0,05	0,01	0,05	0,01
Índice Ambiental (IA)		1,00	0,75	1,00	0,81	1,00	0,39	1,00	0,64	1,00	0,73
Superficie Real		10400 m²		2361 m²		2368 m²		8,30		198,17 ha	
Superficie Ambiental (diciembre)=		7762		1903		931		5,28		145,10	
Porcentaje del total, ambientalmente útil		75		81		39		64		73	

DISCUSIÓN

Es evidente que una superficie de césped cubierta totalmente de árboles tendrá siempre el mayor valor ambiental; sin embargo, de los resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ✓ Se observa que el tramo de calle con arboleda cubriendo toda la superficie tiene el índice ambiental más alto (0,81) y por ello el efecto unitario más positivo al confort desde el punto de vista termodinámico. Le siguen en importancia la plaza clásica y el Parque General San Martín con índice ambiental muy similar (0,75 y 0,73), luego el Parque Central (0,64) por tener mayor porcentaje de cemento al sol y por último el tramo de calle con arboleda deficiente (0,39) por tener bajo porcentaje de superficie verde.
- ✓ Desde el punto de vista de la influencia ambiental urbana, la superficie más negativa y que influye decisivamente en el IA es el cemento (mampostería), expuesto al sol directo, por la emisión de calor, y el más positivo es la presencia de árboles grandes por su capacidad para disipar la radiación solar.

- ✓ El cemento, el asfalto u otros materiales inertes no constituyen superficies negativas al efecto "isla de calor" si están sombreados por vegetación, de hecho la calle con el piso cubierto completamente por ellos y totalmente sombreada, ha resultado con mayor IA que las plazas aparentemente más vegetadas pero con empedrados al sol directo (10 y 12% de la superficie total) y que el Parque General San Martín, con poco cemento pero alta proporción de césped.
- ✓ Termodinámicamente, una superficie de césped homogénea o prado (IA = 0,70) es inferior como regulador del clima a igual superficie de cemento sombreada por árboles grandes (CA = 0,81).
- ✓ En la comparación entre los tramos de calles, por su índice ambiental muy bajo (IA = 0,39 en el caso calculado), la falta de árboles evidencia su importante aporte calórico al efecto "isla de calor" urbano.

CONCLUSIÓN

Se han determinado índices que una vez calculados resultarían de fácil aplicación, posibilitando la calificación ambiental de anteproyectos antes de ser aprobados o mejorar los ejecutados, sobre bases cuantitativas objetivas. Para la República Argentina, el trabajo ofrece estos índices para distintas localidades.

Esta metodología resulta aplicable para cualquier lugar donde se cuente con datos eco-fisiológicos mínimos necesarios: Radiación solar incidente (R_o), albedo de las superficies y evapotranspiración de las formaciones vegetales.

Los índices de espacio verde/habitante o porcentaje de superficie de espacio verde/superficie total, empleados habitualmente para calificar ciudades en relación con la mejora ambiental, si bien orientativos, no constituirían datos ciertos si no se los relaciona con el tipo de espacio verde considerado y su diseño. Se puede determinar que un espacio verde más chico puede tener mayor valor ambiental que otro más grande pero de menor VA.

En el presente trabajo se resalta y cuantifica el valor de la evapotranspiración como único medio práctico para modificar el microclima urbano hacia términos más confortables desde el punto de vista termodinámico. Por ello, en climas áridos es posible considerar el consiguiente consumo de agua de regadío no como una pérdida de recurso improductiva, como suele pensarse, sino como costo ambiental ineludible para mejorar la calidad de vida, en la medida que se emplee eficientemente (6).

BIBLIOGRAFÍA

1. Alberto, J. Albedos. http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/meteo_mod2.htm. Octubre 2005.
2. Codina, R. A. 1999. Criterio ambiental volumétrico para el cálculo patrimonial y de necesidades urbanísticas en espacios verdes. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. UNCuyo. Cap. 3. p. 51-90.
3. Contardi, H. 1979. Nueva concepción ecológica-tecnológica sobre los espacios verdes urbanos. Inédito. Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo.
4. Chamboleyron, J. L. 1980. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Riego y Drenaje. Fascículos 4, 3, 2. Ed. ACME. Buenos Aires. p 10-39.
5. Garreaud, R. S.; Rutllant, J. 2005. Flujos radiactivos. Módulo 2. Dpto. de Geofísica. Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/meteo_mod2.htm. Octubre 2005.
6. Hightower, J. D. Desarrollo Inteligente e Islas Urbanas de Calor. Agencia de Protección al Medio Ambiente de los EEUU. California EPA-909-F-04-010. <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/SmartgrowthSpanish.pdf>. Noviembre 2005.
7. INFOAGRO. El riego en el olivar. http://www.infoagro.com/olivo/riego_olivar.asp. Diciembre 2005.
8. Larcher, W. 1977. Ecofisiología vegetal. Ed. Omega. p 11-20 y 155-215.
9. Mc Pherson, G.; Nowak, D. J.; Ropwntree, R. A. 1994. Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicabo urban forest climate project. U. S. Department of Agriculture. General Technical Report NE 186. Chicago. 201 p.
10. Morábito, J. A. Necesidades netas y brutas de riego de los principales cultivos del área regadía del río Mendoza. Convenio Instituto Nacional del Agua y Ministerio de Ambiente y Obras Públicas del Gobierno de la Provincia de Mendoza. p 1-11.
11. Morábito, J. A.; Martínez Tívoli, J.; Salatino, S.; Mirábile, C. S.; Manzanera, M.; Mas-trantonio, L. 2005. Determinación de escenarios de demanda de riego en el área dominada por el río Mendoza. Informe Final. Convenio Instituto Nacional del Agua y Ministerio de Ambiente y Obras Públicas del Gobierno de la Provincia de Mendoza. p 23-26.
12. Sánchez San Román, F. J. Radiación extraterrestre. Dpto. Geología Univ. Salamanca. <http://web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/Jensen.pdf>. Octubre 2005.
13. Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Albedo>. Septiembre 2005.
14. Wypych, S.; Bokwa, A. 2003. Balance de radiación en una ciudad- Jagiellonian University - Cracovia / Polonia. http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2__Clima_urbano/_-_Radiaci_n_3zg.html. Octubre 2005.