



Ramón Codina ²
Jorge Barón ³

CRITERIO AMBIENTAL VOLUMÉTRICO PARA CÁLCULO DE ESPACIOS VERDES ¹

ENVIRONMENTAL VOLUMETRIC CRITERION FOR GREEN SPACES CALCULUS

Originales

Recepción: 02/11/2001

Aceptación: 30/08/2002

RESUMEN

Los espacios verdes y, en general, la vegetación utilizada para protección, son valorados, medidos y calculados por el área destinada a esa función más que por los elementos vegetales relacionados. Esto significa una simplificación excesiva que no aporta los criterios de cuantificación necesarios tanto para preservar el patrimonio natural existente como para elaborar proyectos de mejoramiento ambiental. En este trabajo se propone un concepto nuevo para la valoración de los elementos vegetales atendiendo a su influencia como mejoradores ambientales. Se determinan dos índices de valoración: el *Índice de Vegetación Ambientalmente Activa* por unidad de área utilizada y el *Índice Ambiental Urbanístico*. Ambos permiten cuantificar la importancia urbanística y ambiental de la vegetación. También se introduce un nuevo concepto en el cálculo de la necesidad de espacios verdes en proyectos urbanísticos y en áreas de amortiguación industriales, basado en el volumen vegetativo que debe existir en áreas que normalmente se destinan a espacios verdes.

SUMMARY

The green spaces and, in general, the protective vegetation, are valued, measured and calculated by the area designated to that function, rather than by the related vegetal elements. This means that an excessive simplification is used, which does not apport quantitative valuation criteria. These criteria is presently needed both in preserving natural patrimony, and in projecting tasks in environment improvement engineering. In this work, a new valuation concept for the vegetal elements is proposed, based on their influence as environment improvers. Valoration indexes are defined: such as the *Environmentally Active Vegetation Index* by utilized area unit, and the *Urban Environment Index*. These indexes allow for the quantitative evaluation of the urbanistic and environmental value of the vegetation. A new concept to calculate the need of green areas both in urbanistic and in industrial protection areas is also proposed. The concept is based on the vegetation volume needs in the areas usually designated for green spaces.

Palabras clave

valoración ambiental de vegetación •
necesidades de verde urbano • áreas
verdes industriales

Key words

environmental vegetation valuation •
urban vegetation needs • industrial
green space

- 1 Resumen se tesis aprobada en la Maestría de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería (UNCuyo). Archivada en las bibliotecas de las Facultades de Ciencias Agrarias e Ingeniería (UNCuyo).
- 2 Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown N° 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. ccea@fca.uncu.edu.ar
- 3 Instituto de capacitación especial y desarrollo de ingeniería asistida por computadora. Fac. de Ingeniería. UNCuyo.

INTRODUCCIÓN

Debido a su importancia en la vida moderna los espacios verdes y, en general, la vegetación ornamental y de protección contra factores adversos deben integrar el patrimonio natural de la comunidad, junto con el resto de los recursos naturales renovables. La mejora ambiental debida a la vegetación ha sido cuantificada por numerosos autores constituyendo la base del criterio de valoración vegetal propuesto en este trabajo (15, 16, 17, 18, 23, 24, 25).

Dicho mejoramiento justifica la consideración de los vegetales como elementos naturales esenciales para contrarrestar -al menos en parte- los desequilibrios que ocurren en los conglomerados humanos, desde el punto de vista de la higiene y la estética del ambiente. El primer paso para incrementar la presencia de vegetales en ciudades es el establecimiento de criterios cuantitativos que ayuden a los profesionales en la defensa de esos elementos representativos de la naturaleza, tanto en la protección de los ejemplares existentes como en el mejoramiento de los efectos ambientales de proyectos de ingeniería y arquitectura, frente a criterios orientados por utilitarismos económicos inmediatos.

Objetivos

1. Definir un criterio novedoso de tipo integral, basado en cálculos volumétricos de vegetación, que permita una valoración ambiental más exacta de los espacios verdes existentes, así como el cálculo de la necesidad de áreas verdes en planificaciones urbanas y áreas de amortiguación de instalaciones industriales.
2. Crear una nueva herramienta de cálculo en el área de la ingeniería, apta para el desarrollo de proyectos de mejora ambiental que contemplen la creación de áreas verdes.
3. Establecer parámetros cuantitativos para comparar y evaluar proyectos relacionados con el manejo de áreas verdes y mejora ambiental.
4. Proponer un nuevo método para la valoración de la vegetación en base a parámetros cuantitativos fundamentados en la mejora del entorno humano, y aplicarlo en el desarrollo de estudios de *Evaluación de Impacto Ambiental* de proyectos urbanísticos, turísticos e industriales y también en procesos legales, tasaciones y normativa de preservación de recursos naturales.

A. DEFINICIONES Y MÉTODO

I. Valoración de espacios verdes existentes

Es indispensable incorporar un nuevo criterio para la valoración cuantitativa de los espacios verdes existentes y para el cálculo de las necesidades de verde planificado en asentamientos urbanísticos e industriales, que se fundamente en la influencia de la vegetación como mejorador ambiental de factores microclimáticos, contaminantes y paisajísticos. Para ello se propone el Índice ambiental-urbanístico, calculado en base al Índice volumétrico de vegetación activa, referido a la superficie ocupada por la vegetación o destinada a portar vegetación.

- El *Índice Volumétrico de Vegetación Activa*, cuya unidad es m^3/m^2 , indica la cantidad de vegetación ambientalmente activa en volumen de espacio ocupado por vegetación por unidad de superficie de terreno afectado.
- El terreno afectado a espacio verde: superficie verde efectiva, es la superficie que realmente porta vegetación, incluyendo terreno desnudo portante de árboles y/o arbustos, habiéndose descontado toda superficie con construcciones, cubierta o pavimentada.

II. Concepto de vegetación activa

La vegetación arbórea, arbustiva y herbácea interactúa con el ambiente produciendo mejoras en las condiciones físicas y químicas según las necesidades del hábitat humano, tanto en los parámetros climáticos y microclimáticos como en los factores contaminantes. Esta interacción se verifica siempre en relación directa con el área foliar y su parámetro vinculado: el volumen de espacio ocupado por la vegetación. La persistencia o caducidad del follaje, su textura, su densidad o transparencia, su estado fisiológico y su esperanza de vida son los principales condicionantes que modifican la eficiencia de la vegetación en la mejora ambiental enunciada. En consecuencia, persistencia, textura y densidad del follaje, estado fisiológico y esperanza de vida deben intervenir en el cálculo del Volumen de vegetación activa, mediante factores de corrección que modifican el Volumen de vegetación.

III. Elección del rango de variación de los factores

Los factores correctivos corresponden a la calificación de elementos de características intrínsecas del vegetal, con rango de variación entre 0 y 1. Según la forma matemática del modelo propuesto, factores con valor nulo carecen de sentido, salvo en el caso especial del factor estado fisiológico de un ejemplar muerto, sin valor ambiental. Para los demás factores intrínsecos, el rango de variación seleccionado será de 0,1 a 1.

IV. Factores

IVa. Factor Persistencia del follaje (FP)

Se considera un factor de 0,1 a 1 según el período anual (fracción anual en meses) en que la especie -en el lugar considerado- permanece con hojas.

Tipo de follaje	Fracción anual con hojas	FP [adimensional]
afilo	0	0,1
caduco (temprano)	0,4 a 0,49	0,25
caduco (tardío)	0,5 a 0,59	0,5
caduco (medio)	0,6 a 0,8	0,7
semi-persistente	0,8 a 0,9	0,8
persistente	0,9 a 1	1

IVb. Factor Textura del follaje (FT)

Se consideran las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas incluidas en cinco categorías según la textura de su follaje:

muy fina fina media gruesa muy gruesa

El tamaño medio del elemento foliar, considerado en su menor dimensión o ancho, caracteriza la textura desde el punto de vista de su acción en el efecto de filtrado del aire, básico en la influencia ambiental del vegetal. Según las experiencias publicadas por distintos autores (18, 23, 25), el efecto ambiental de la vegetación es mayor cuando es menor el tamaño de los elementos foliares, ya que los fenómenos involucrados son dependientes fuertemente de la superficie de contacto hoja/aire y, en general, las especies que poseen hojas más pequeñas presentan mayor cantidad de ellas por espacio de copa. Consecuentemente, se propone la siguiente escala de textura y factor FT :

Textura del follaje	Ancho medio (mm)	FT [adimensional]
muy fina	< 2	1
fina	2 a 5	0,8
media	5 a 100	0,5
gruesa	100 a 500	0,3
muy gruesa	> 500	0,1

IVc. Factor Densidad del follaje (FD)

La densidad del follaje es de gran importancia en la determinación de la influencia ambiental de las especies. Normalmente es apreciada cualitativamente y, por lo tanto, las estimaciones efectuadas por los profesionales pueden no ser coincidentes. Por tal motivo se introduce un concepto cuantitativo de valoración, basado en la intercepción lumínica producida por el follaje. Con la misma se establece la densidad de follaje que corresponde a una determinada categoría. Mediante mediciones con luminómetro se determina un coeficiente adimensional que depende de cada especie vegetal, calculándose con la expresión:

$$CIL = (LD - LC) / LD$$

donde:

CIL = coeficiente intercepción lumínica

LD = luz directa

LC = luz transmitida por la copa

El CIL se usa para catalogar la densidad de follaje. A mayor densidad del follaje en un vegetal considerado, sus efectos ambientales aumentan, de acuerdo con la siguiente escala:

CIL	Densidad del follaje	FD [adimensional]
0,960 a 0,999	muy alta	1
0,920 a 0,959	alta	0,8
0,880 a 0,919	media	0,5
0,840 a 0,879	baja	0,3
0,800 a 0,839	muy baja	0,1

IVd. Factor Estado fisiológico y sanitario (FE)

La capacidad de mejora ambiental que produce un vegetal es influenciada por su estado fisiológico y nutricional. Plantas debilitadas manifiestan síntomas en su ritmo de crecimiento y características del follaje (disminución del vigor y del área foliar), que repercuten directamente en el efecto producido por el ejemplar sobre el

medio. De igual manera, la incidencia de plagas y enfermedades reduce el valor ambiental de las especies. Por tanto, dichos elementos de juicio deben considerarse en el análisis del valor ambiental. Se pondera globalmente el estado fisiológico, nutricional y sanitario del vegetal, teniendo en cuenta la incidencia de factores adversos: enfermedades y plagas, y su grado de recuperabilidad, si son posibles tratamientos adecuados. En base a la observación detallada se categorizará cada ejemplar, asignando valor numérico a su FE:

Categoría del ejemplar	FE [adimensional]
muerto	0
muy deteriorado	0,1
débil recuperable	0,3
mediano	0,6
bueno	0,8
óptimo	1

IVe. Factor Esperanza de vida (FEV)

El efecto ambiental de un elemento vegetal está condicionado a la duración en el tiempo de ese efecto por lo que siempre será deseable que los componentes volumétricos básicos del paisaje -en especial árboles y arbustos- posean condiciones de adecuada durabilidad o esperanza de vida. Esto también se relaciona con la sustentabilidad de los espacios, toda vez que la baja durabilidad de ciertas especies obliga a tareas de reposición, con el consecuente costo adicional en mantenimiento. Por tal motivo, dentro de los espacios estudiados se debe valorar con calificativos más altos a las especies más longevas. Se otorgará puntaje de 1 a 0,1 a los ejemplares según su esperanza de vida a partir del relevamiento, de acuerdo con la siguiente escala:

Esperanza de vida [años]	FEV [adimensional]
> 100	1
50 a 100	0,8
30 a 50	0,5
10 a 30	0,3
< 10	0,1

V. Volumen de vegetación activa

Considerados los factores de corrección, el *Volumen de Vegetación Activa* (VVA) del lugar considerado, se calcula mediante:

$$VVA = VV * FP * FT * FD * FE * FEV [m^3]$$

donde:

- VV = volumen real de vegetación
- FP = factor persistencia del follaje
- FT = factor textura del follaje
- FD = factor densidad del follaje
- FE = factor estado fisiológico
- FEV = factor esperanza de vida

El concepto de *Volumen de Vegetación Activa* adquiere significación y valor comparativo cuando se lo relaciona con el área afectada para sustentar ese volumen de vegetación. En tal sentido es necesario referirlo al valor de la *Superficie verde efectiva* (SVE) para obtener el *Índice Volumétrico de Vegetación Activa*. La superficie verde efectiva -definida anteriormente- es el área afectada realmente a sustentar vegetación. Para cálculos en ejemplares aislados, se tomará como superficie verde efectiva -o superficie efectiva- el área ocupada por la proyección de la copa sobre el terreno.

VI. Índice volumétrico de vegetación activa

El primer parámetro de importancia en la caracterización del valor ambiental de un grupo de ejemplares vegetales, o incluso de un vegetal aislado, es el *Índice Volumétrico de Vegetación Activa* (IVVA) calculado por el cociente:

$$IVVA = VVA / SVE [m^3/m^2]$$

Los valores resultantes permiten comparar sectores que, si bien pueden tener el mismo volumen de vegetación, presentan índices diferentes según el área destinada efectivamente a ocupación por elementos verdes. Por ser un parámetro objetivo de cálculo, obtenido en función de la actuación ambiental de las especies, el IVVA se aplica en la valoración de áreas que sustentan vegetación y en el análisis ambiental de situaciones que involucran la existencia de vegetación.

VII. Formas y volúmenes vegetales

El volumen de vegetación de un elemento vegetal, especialmente en lo referente al volumen de fronda -o espacio ocupado por el follaje- está directamente relacionado con la forma que adopta la copa y sus dimensiones, tanto en árboles, como en arbustos y herbáceas.

- La forma está determinada por la expresión fenotípica de la especie para las condiciones del sitio. Varía de un lugar a otro y es modificable por la intervención del hombre (podas) y accidentes ambientales: rayos, fuego, animales, etc.
- Las dimensiones generales del vegetal y su evolución a lo largo del tiempo, también son producto de la interacción entre los factores fenotípicos y las características del sitio. Por lo tanto, el volumen de vegetación es una característica particular de cada lugar en interacción con las especies existentes en él, siendo una medida válida para la evaluación ambiental del conjunto de elementos vegetales y componentes físicos.

En el relevamiento de los volúmenes de vegetación se presentan distintas formas básicas, idealizadas mediante los tipos geométricos más próximos:

- Esférica, de radio r y volumen $V = 4/3 \pi r^3$

Ejemplos:

La forma esférica es la más común apreciándose en numerosas especie ; entre ellas: *Ulmus carpinifolia Umbraculifera*, *Acer negundo*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus americana*, *Robinia pseudoacacia Umbraculifera*, *Salix babylonica*, *Prosopis chilensis*, *Ligustrum lucidum*, *Chaenomeles lagenaria*, *Viburnum tinus*, *Buxus sempervirens*, *Viburnum tinus*, *Washingtonia filifera*, *Phoenix canariensis*, *Trachycarpus fortunei*.

- Casquete esférico, forma derivada de la anterior, de volumen:

$$V = 1/3 \pi h^2 (3r - h), \text{ siendo } r \text{ el radio y } h, \text{ la altura.}$$

Ejemplos:

Melia azedarach Umbraculiferay muchos ejemplares de copa esférica modificada por agentes externos.

- Cilíndrica, de radio r , altura h y volumen: $V = \pi r^2 h$

Ejemplos:

En general, las siluetas columnares se asimilan a esta forma, como en *Cupressus sempervirens Stricta*, *Populus nigra Italica*, *Populus nigra Thaysiana*, *Populus alba Bolleana*.

- Cónica, de volumen: $V = 1/3 \pi r^2 h$

Ejemplos:

Cedrus deodara, *Cedrus atlantica*, *Cupressus sempervirens Horizontalis*, *Pinus griffithii*, *Pinus canariensis*, *Cupressus arizonica*, *Cupressus macrocarpa*, *Thuja orientalis*, *Chamaecyparis lawsoniana*.

Forma derivada : tronco de cono. Para radio mayor b ; radio menor a y altura h .

Su volumen es: $V = 1/3 \pi h (a^2 + (a*b) + b^2)$.

Ejemplos:

Esta copa es adoptada por muchas especies, como las coníferas, que, teniendo disposición natural a la forma cónica, han sido mutiladas o deformadas por intervención humana.

- Elipsoidal, con semiejes a , b y c . Volumen: $V = 1/3 \pi a^* b^* c$

Ejemplos:

Eucalyptus camaldulensis, *Populus x Euroamericana*, *Magnolia grandiflora*, *Tilia cordata*, *Maytenus boaria*

- Paralelepípeda, de longitud a , altura b y anchura c . Volumen $V = a*b*c$
- Paralelepípeda trapezoidal, con base mayor a , base menor b , largo c y altura h . Su volumen es $V = [(a + b) h / 2] c$

Ejemplos:

Ambas formas paralelepípedas se encuentran en setos recortados, utilizados como delimitantes y defensivos en espacios verdes y predios en general. Entre las especies frecuentes conducidas de esta manera figuran *Thuja orientalis*, *Pyracantha coccinea*, *Ligustrum sinense*.

- Forma irregular: se estima el volumen de vegetación si se asimilan a las formas regulares más próximas. Se consideran toda la copa o sectores de la misma, según grado de la irregularidad y la precisión asignada al cómputo.

Ejemplos:

Esta copa, fenotípicamente escasa, se encuentra en cualquier especie que haya sufrido mutilaciones y espontáneamente en: *Chorisia insignis*, *Robinia pseudoacacia*, *Casuarina cunninghamiana*.

VIII. Índice Ambiental Urbanístico

El *Índice Volumétrico de Vegetación Activa* (IVVA) es un indicador del valor ambiental de un lugar según los elementos volumétricos vegetales y sus condicionantes intrínsecos: características del follaje, estado y longevidad. Sin embargo, no es suficiente como parámetro de juicio valorativo en problemas de ingeniería ya que todo elemento vegetal reviste valores especiales según el lugar donde se encuentra. También se debe considerar el efecto paisajístico, un criterio decisivo para la valoración del hábitat humano. Entornos paisajísticamente agradables o con adecuada vegetación aumentan incluso el valor económico de las propiedades. Por lo tanto, la vegetación debe ser analizada desde dos puntos de vista: la utilidad funcional y la calidad estética. En ambos casos existe la posibilidad de valorar los elementos vegetales de manera alta o baja. Un árbol puede cumplir una función ambiental por su elevado IVVA estando en lugar inadecuado. Entonces dará sombra cuando se requiere asoleamiento invernal (déficit de utilidad funcional) o constituirá un factor de riesgo; por tales razones, su valor disminuirá.

También es necesario tener en cuenta valoraciones especiales de los elementos vegetales existentes desde otros dos puntos de vista: el ecológico y el cultural, que -en ocasiones- no pueden separarse puesto que, estrictamente, lo ecológico abarca lo cultural. Ecológicamente la vegetación, además de las funciones señaladas, aumenta la biodiversidad, tópico importante en los conglomerados urbanos y las zonas de producción agrícola. En los primeros, además de su sola existencia (cuando son especies raras), constituyen el hábitat de especies animales que -de otra manera- tienden a desaparecer, como las aves. En las segundas, los cultivos en grandes extensiones mono-específicas, pueden acarrear desequilibrios que perjudican al propio sistema productivo (la reducción de hábitats puede desencadenar plagas por desaparición de enemigos naturales).

Culturalmente, la presencia vegetal junto al hombre puede representar un hito histórico y una referencia educativa, independientemente de los valores científicos y de aplicación de las especies. Este carácter de deseabilidad de la vegetación, cuando se procura el mejoramiento ambiental global del hábitat humano, es difícil de medir. Sin embargo, es factible proponer elementos valorativos cuantificables para integrar una ecuación de cálculo. Los espacios verdes existentes -categorizados y evaluados por el Índice Ambiental Urbanístico (IAU)- sirven para comparar cuantitativamente el impacto ambiental; proyectos y cálculos patrimoniales de verde existente: urbano y extra-urbano, relevamientos, etc. El valor ambiental-urbanístico de un espacio verde existente depende, además del IVVA como valor básico, de dos variables principales: la ubicación respecto del conglomerado urbanizado y su ponderación paisajística, ecológica y cultural.

IX. Factor de ubicación urbana

El *Factor de Ubicación Urbana* (F_u) -según Fines, citado en (3)- se obtiene con la relación P/d que luego actúa como factor en la ecuación de cálculo del valor del paisaje. Los factores P y d se encuentran según la siguiente escala:

Nº de habitantes	P [adimensional]	Distancia (km)	d [adimensional]
1 - 1000	1	0 - 1	1
1 000 - 2 000	2	1 - 2	2
2 000 - 4 000	3	2 - 4	3
4 000 - 8 000	4	4 - 6	4
8 000 - 16 000	5	6 - 8	5
16 000 - 50 000	6	8 - 10	6
50 000 - 100 000	7	10 - 15	7
100 000 - 500 000	8	15 - 25	8
500 000 - 1 000 000	9	25 - 50	9
> 1 000 000	10	> 50	10

La distancia -en km- se toma entre el centro geográfico del núcleo urbano y el centro del elemento o grupo vegetal considerado. El *Factor de Ubicación Urbana* se calcula con:

$$F_u = P / d \text{ [adimensional]}$$

X. Factor Paisajístico, Ecológico y Cultural (Fp)

Se dará un valor al espacio verde, grupo vegetal o ejemplar aislado considerado, analizando su aptitud para mejorar el paisaje según criterios funcionales, estéticos, valores culturales y/o ecológicos. Ante todo, cabe indicar que el valor paisajístico no es solamente sustentado por categorías estéticas, debiéndose partir de lo funcional para luego considerar lo estético. Lo funcional está dado por los requerimientos de servicio -anteriores a la belleza- que el usuario necesita del vegetal: sombra o asoleamiento, protección, delimitación, mejoramiento microclimático, etc. También incluye el riesgo accidental y/o higiénico, como posible caída de ramas, volcado de árboles por vientos, espinas agresivas, frutos carnosos en veredas, troncos a corta distancia de vías rápidas de circulación vehicular, etc.

La valoración estética se efectúa analizando la unidad de la composición y su fuerza -o intensidad- atractiva, a condición de que el juicio de valor sea emitido por una persona de sensibilidad y sentido crítico ejercitado, sin poder descartar totalmente la subjetividad. Por tal motivo, la asignación de puntajes a las categorías balancean convenientemente el juicio técnico avalado por la experiencia previa, aplicado a la valoración funcional y la naturalidad, y el juicio subjetivo sobre la belleza fundado en la sensibilidad, con componentes culturales e instintivos. Para equilibrar estos aspectos, el puntaje de la valoración será fijado mediante la media aritmética de las tres variables. Las categorías a evaluar, la asignación de rangos de variación de puntaje y los criterios propuestos para encontrar el valor del *Factor Paisajístico, Ecológico y Cultural* (Fp) son la funcionalidad, la calidad visual y el conjunto: naturalidad y los valores ecológicos y culturales.

Xa. Funcionalidad

La aptitud del vegetal para cumplir la función requerida por el usuario considera primero la existencia de una situación de riesgo, motivada por las características del vegetal: madera frágil, tronco carcomido, elementos anatómicos indeseables, etc., o si el uso del espacio circundante hace del vegetal un elemento indeseable o peligroso (mala ubicación respecto de una vía de circulación, visibilidad obstruida, riesgo de colisión, cercanía a líneas eléctricas, etc.). La escala de clasificación y el rango de puntaje a asignar a la funcionalidad (f) es:

Funcionalidad	Riesgo	valor f
alta	nulo	6 a 7
media	levemente posible	3 a 6
nula a baja	alto a posible	0 a 3

Para riesgo alto, la seguridad será catalogada como deficiente y el puntaje de la funcionalidad será nulo, sin entrar a considerar valor estético y ecológico. Este valor 0 será trasladado al Fp, anulando -a su vez- el *Índice Ambiental Urbanístico*. Consecuentemente, será aconsejable tramitar la erradicación de los vegetales considerados. Cuando el riesgo sea juzgado como leve y factible de solución técnica (apuntalamiento, traslado de servicios, podas equilibrantes, etc.) se asignará un puntaje intermedio. Se actúa de igual modo cuando el ejemplar no cumple funciones óptimas pero es tolerado por otras características deseables. Por ejemplo, un árbol de hoja persistente que durante el invierno proyecta sombra sobre una ventana

puede ser respetado por su alta calidad estética, por crear un entorno adecuado a otras especies más delicadas, por su buen estado y su longevidad. El mayor valor se asigna a los ejemplares de alta funcionalidad y seguridad.

Xb. Calidad visual

Se analiza la belleza escénica que sugiere el vegetal o su conjunto, enalteciendo la capacidad de acogida del espacio circundante o como elemento estético en sí mismo, según el grado de captación del interés en su contemplación por parte del usuario. La escala a aplicar a las categorías conceptuales de la calidad visual (c) es la siguiente:

Concepto estético	valor c
espectacular	7
muy atractivo	6
distinguido	5
agradable	4
vulgar	3
neutro	2
desagradable	1

Xc. Naturalidad y valores ecológicos y culturales

- La naturalidad será calificada según el grado de condición natural del aspecto del paisaje vegetal, ya sea de origen espontáneo (vegetación autóctona) o cultivada (diseño apaisado). De acuerdo con la actual tendencia mundial (13, 14, 25), se otorga el mayor puntaje a la distribución de vegetación según lineamientos naturales
- El valor ecológico depende de la integración de los elementos vegetales con los medios biótico y abiótico, y la rareza de las especies presentes (endemismos, especies únicas, etc.); su utilidad para otras formas de vida (especies colonizadoras); su capacidad de adaptación a condiciones difíciles del sitio (resistencia a sequía o a la contaminación), etc.
- El valor cultural se vincula con la connotación histórica o conmemorativa que se asigne a la vegetación estudiada o el valor científico (plantas madres o semilleras, especies raras, etc).

Estos parámetros se analizarán y ubicarán en la siguiente escala de conceptos y puntajes para la naturalidad (n):

Naturalidad	ecológico	Valor cultural o científico	(n)
alta	alto	alto	5 a 7
modificada	medio	medio	3 a 5
muy modificada	bajo	nulo	1 a 3

El *Factor de Valor Paisajístico, Ecológico y Cultural* (F_p) se establece con la media aritmética de la funcionalidad (f), la calidad visual (c) y la naturalidad y los valores ecológicos y culturales (n):

$$F_p = (f + c + n) / 3 \text{ [adimensional]}$$

XI. Cálculo del Índice Ambiental Urbanístico

Para cada ejemplar vegetal o grupo de ejemplares en un espacio considerado, se define un índice ambiental urbanístico (IAU) con la igualdad:

$$IAU = F_u * F_p * IVVA \text{ [m}^3/\text{m}^2\text{]}$$

donde:

IVVA = *Índice Volumétrico de Vegetación Activa* [m^3/m^2]

F_u = *Factor de Ubicación Urbana* [adimensional]

F_p = *Factor de Valor Paisajístico, Ecológico y Cultural* [adimensional]

B. APLICACIONES DEL ÍNDICE AMBIENTAL URBANÍSTICO

El relevamiento de espacios vegetados según el criterio expuesto, suministra parámetros cuantificados utilizables para la comparación de lugares que posean vegetación y permite emitir juicios de valor y tomar decisiones en proyectos alternativos de desarrollo urbano, turístico e industrial. La vegetación, con su consecuente modificación ambiental micro y mesoclimática, es un valor agregado del territorio, a tener en cuenta entre los recursos naturales del sitio. Con el IAU podría determinarse el valor ambiental monetario de la vegetación, necesario para resolver problemas económicos y jurídicos (política impositiva, litigios, tasación de propiedades). También es una herramienta apta para el análisis ambiental y el estudio del impacto de actividades humanas sobre los lugares monitoreados, facilitando la aplicación de medidas correctivas o mitigantes tempranas.

Una escala referencial del IAU para el valor ambiental-volumétrico de la vegetación evaluada en condiciones reales tiene, al menos tres rangos: alto, medio y bajo. Dada la complejidad de los criterios y tratándose de elementos dinámicos -en permanente crecimiento- con el agregado de valoraciones estéticas y ecológicas que varían con el tiempo, es imposible establecer el valor máximo del índice para cada lugar. Por el contrario, su valor mínimo es cero. Con determinaciones experimentales se ha estimado el valor real de la vegetación en una zona de características medias y, a partir del mismo, se definen los valores bajos, medios y altos alcanzables -en condiciones normales- para especies comunes. La escala de referencia propuesta para ámbitos urbanos y rurales de nuestro medio (Mendoza, Argentina) es:

IAU: bajo = 0 a 1 medio = 1 a 10 alto = > 10

I. Necesidades de verde urbanístico

Para establecer estándares de necesidades de verde por habitante en zonas urbanas según un nuevo criterio se partirá de una sugerencia de H. Contardi (5) tomando como unidad de cálculo el peso promedio de dióxido de carbono producido diariamente por la respiración humana (aprox. 900 g) y se estimará el volumen nominal -o bruto- de vegetación necesaria para equilibrar dicha emisión, incluyendo árboles, arbustos, herbáceas y césped. En este caso, interesa el volumen nominal a crearse, pero no se aplicarán los factores para el cálculo del IVVA porque este parámetro se refiere exclusivamente al valor ambiental-volumétrico de vegetación ya existente en un lugar. Para ello se correlacionará la capacidad promedio de asimilación fotosintética del CO₂ por unidad de área foliar entre las especies más difundidas en zonas templadas con el área foliar media por volumen de vegetación. La asimilación anual de CO₂ se medirá en: g CO₂ asimilado/(m³ vegetación * año). Según datos de muchos autores, los valores promedio entre la fotosíntesis neta máxima en condiciones naturales de suministro de CO₂ (300 ppm), saturación de luz, temperatura óptima y buen suministro hídrico, y el cero de actividad fotosintética, para los principales tipos de vegetación en zonas templadas, es de 4,662 mg CO₂ asimilados/dm² * hora. Aceptado dicho valor como promedio general de estimación anual de la actividad fotosintética, entre los tipos de vegetación, se obtiene 11,188 g CO₂ / (m² * día). Dado la ausencia de datos en la bibliografía, las mediciones para fundamentar el promedio de área

foliar (AF) se han estimado en aprox. $8 \text{ m}^2 \text{ AF/m}^3 \text{ veg.}$ en las especies arbóreas y arbustivas más difundidas en espacios verdes de Mendoza (Argentina). Relacionando los precitados valores se obtiene $89,504 \text{ g CO}_2 / \text{m}^3 \text{ veg} * \text{ día}.$

Finalmente, en base a los $900 \text{ g CO}_2 / (\text{persona} * \text{ día}),$ la necesidad de vegetación por habitante resulta $10,05 \text{ m}^3 \text{ veg/persona}.$ Por lo tanto, redondeando la cifra, el estándar de necesidad será un volumen de vegetación de $10 \text{ m}^3 / \text{habitante}.$ Este valor debe considerarse como mínimo de proyecto en cálculos de necesidades de verde para asentamientos urbanos.

II. Período de cálculo

Diez años será el período para la producción de la utilidad ambiental, o tiempo de cálculo para determinar el volumen de vegetación para proyectos. Es decir, el cálculo de los volúmenes proyectados corresponderá al crecimiento esperado a los 10 años de implantada cada especie en las condiciones del sitio: suelo, clima, incidencias de la contaminación ambiental y mantenimiento real esperables. El volumen calculado de vegetación se relacionará con los m^2 por habitante de espacios abiertos, usados normalmente en cálculos urbanísticos. En suma, se propone un mínimo de necesidad de verde volumétrico de 10 m^3 en el área del estándar de $20 \text{ m}^2 / \text{habitante}$ a los 10 años de construido el emprendimiento. Así quedará definida para cada asentamiento urbano la necesidad en superficie de espacio verde caracterizado por poseer un determinado volumen mínimo de vegetación.

III. Áreas amortiguadoras industriales

Para las zonas de amortiguación de áreas industriales se propone el valor de población equivalente de la contaminación producida por la actividad industrial, traduciéndose en un área verde calculada en base a la de absorción del CO_2 producido por la persona humana, según la capacidad promedio de la unidad de volumen vegetal: $10 \text{ m}^3 / \text{hab.},$ a los 10 años de implantado el espacio verde. Este criterio reemplaza al existente basado exclusivamente en cálculos de superficie verde (12, 21). En todos los casos la actividad industrial se encontrará dentro de los límites de emisión de contaminantes, marcados por la normativa vigente. La franja de vegetación simplemente contribuirá a lograr una significativa mejora ambiental en las áreas influenciadas por dichas industrias.

IV. Población equivalente

La *Población Equivalente* (Peq) se calculará en base al consumo promedio de energía eléctrica de la industria, en su zona de influencia, según:

$$\text{Peq} = \text{CEI} / \text{CEPH} [\text{hab}^{-1}]$$

donde:

Peq = población equivalente a esa industria

CEI = consumo eléctrico anual de la industria [MWh año^{-1}]

CEPH = consumo eléctrico anual por habitante [$\text{MWh año}^{-1} \text{ hab}^{-1}$]

El consumo medio para la provincia de Mendoza en el decenio 1987-97 (7) fue 1,89 MWh / (hab*año). Este valor -o el máximo en 1997: 2,11 MWh / (año * hab)- se toma como ejemplo, a los fines metodológicos, para el siguiente cálculo de la zona verde.

V. Zona de amortiguación verde

Las franjas de amortiguación verde de la industria considerada contemplarán un volumen de vegetación a los 10 años de implantado, calculado en base a la necesidad de volumen de vegetación activo por habitante, multiplicado por la población equivalente. Referido a los valores anteriormente enunciados será:

$$V_v = (10 * CEI) / 2,11 \text{ [m}^3\text{]}$$

Para valor de un período determinado. O bien, estableciendo valores constantes:

$$V_v = K * CEI \text{ [m}^3\text{]}$$

donde:

V_v = volumen de vegetación a crear [m³]

CEI = consumo eléctrico anual de la industria [MWh/año]

K = 4,7 m³/(MWh * año)

La constante K es válida para el lugar y el año considerados, variando en función del consumo eléctrico medio por habitante.

C. CONCLUSIONES

• Valoración de vegetación existente

La medición volumétrica de la vegetación existente en un lugar, aplicando los índices correctivos por factores intrínsecos del vegetal y por factores externos, derivados de la ubicación y los aspectos paisajísticos, ecológicos y culturales, es una herramienta utilizable en condiciones rápidas de campo para comparar cuantitativamente áreas con grupos vegetales o con ejemplares aislados. Consecuentemente, suministra un criterio objetivo para la toma de decisiones en el análisis del valor ambiental de la vegetación, la evaluación de impacto ambiental de proyectos, la tasación de propiedades, los relevamientos de recursos naturales, etc.

• Necesidades de verde urbano

Se ha propuesto un estándar de necesidad de verde en base al volumen de vegetación a crear en el área destinada a espacio verde: de 10 m³ /habitante, a los 10 años de construido el asentamiento. Se fundamentó en una relación ecológica efectiva hombre / vegetal para asentamientos residenciales calculada en función de la asimilación carbónica por fotosíntesis.

• Vegetación para áreas industriales de amortiguación

Las franjas de amortiguación ambiental de una industria contemplarán un volumen de vegetación a los 10 años de implantado, calculado en base al consumo anual eléctrico de la industria, transformado en población equivalente cuando se refiere al consumo medio por habitante, multiplicado por el estándar de verde urbano por habitante propuesto. Este índice volumétrico servirá de base para una mejora progresiva del entorno de cada industria, constituyendo un avance respecto del criterio imperante hasta el momento: áreas libres sin especificaciones acerca de la vegetación a establecer.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aramburu Maqua, P. 1986. Recuperación paisajística de los taludes del aparcamiento de Navacerrada y zonas anexas. Esc. Técn. Sup. de Ingenieros de Montes. Madrid. 460 pp.
2. Ayala Carcedo, F. 1996. Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Inst. Tecn. Geominero de España. Madrid. 332 pp.
3. Claver Farías, I. 1984. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. Min. de Obras Públicas y Urbanismo. Centro de Estudios del Territorio y Medio Ambiente. Madrid. 572 pp.
4. Conesa Vitora, V. 1993. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Colegio Oficial de Ing. Agrónomos de Levante. Mundi Prensa. Madrid. 276 pp.
5. Contardi, H. G. 1980. Nueva concepción ecológica-tecnológica sobre los espacios verdes urbanos. Ecología Argentina. Buenos Aires. N° 5:105-122.
6. Ehrelinger, J. and Mooney, H. A. 1981. Productivity of desert and mediterranean-climate plants. Enc. of Plant Phys. Vol 12-D: 205-226.
7. Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE). 1999. Información al usuario del servicio público eléctrico. Mendoza. Argentina.
8. Gómez Orea, D. 1992. Evaluación de impacto ambiental. Ed. Agrícola Española. Madrid. 221 pp.
9. Guldman, J. M. et al. 1980. Industrial location and air quality control. Wiley. New York. 234 pp.
10. Larcher, W. 1977. Ecofisiología vegetal. Omega. Barcelona. 297 pp.
11. Laurie, M. 1983. Introducción a la arquitectura del paisaje. Gili. Barcelona. 430 pp.
12. Ley 4341 (de loteos). 1979. Gobernación de Mendoza. Argentina.
13. Lorenzini, G. 1998. Il Giardino Forito. Ed. Agrícola. Bologna. Italia. Año LXIV. N° 1/2: 16-19.
14. Lynch, K. 1980. Planificación del sitio. Gili. Barcelona. España. 350 pp.
15. Mc Pherson, G. E. et al. 1994. Chicago's urban forest ecosystem: the Chicago urban forest climate project. U.S.Dep.of Agric. NE Forest Exp.Station. Tech. report NE 186.Chicago. USA. 201 pp.
16. Miller, T. 1992. Ecología y medio ambiente. Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra. Iberoamérica. México. 874 pp.
17. Moretton, J. 1996. Contaminación del aire en la Argentina. Universo. Buenos Aires. 125 pp.
18. Organización Panamericana de la Salud. 1980. Manual de calidad del aire en el medio urbano. Organización Mundial de la Salud. Washington, D.C. USA. 17-151.
19. Passera, C. B. et al. 1986. Método de point cuadrat modificado. En: Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas. Armawald. Buenos Aires. 71-77
20. Pesson, P. 1978. Ecología forestal: bosque, clima, suelo, árboles, fauna. Mundi Prensa. Madrid. 389 pp.
21. Proyecto de ley de ordenamiento territorial, uso y división del suelo.1997 Sen. y Cám. de Dip. Inédito. Mendoza. Argentina.
22. Rodríguez Avial Llardent, L. 1982. Zonas verdes y espacios libres en la ciudad. Inst. de Estudios de Administración Local. Madrid. 538 pp.
23. Roig, F. A. 1976. El cuadro fitosociológico en el estudio de la vegetación. IADIZA. Mendoza. Argentina. Deserta 4:45-67.
24. Schulze, E. D. 1982. Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. Enc. of Plant Phys. Vol. 12-B: 616-667.
25. Seoáñez Calvo, M. 1996. Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. Mundi Prensa. Madrid. 701 pp.
26. Viglizzo, E. 1997. Elementos para una política agroambiental en el Cono Sur. IICA. Montevideo. 204 pp.