

# 2

---

## IMPACTO DE LA VEGETACIÓN EN EL MICROCLIMA URBANO.

## 2.1 INTRODUCCIÓN

La intención de este capítulo es presentar el estado del arte en la investigación del impacto de la vegetación en el microclima urbano. Si bien el término "estado del arte" se refiere a los trabajos de investigación más recientes, en nuestro caso hemos tenido que hacer referencia a trabajos que datan de la primera mitad del siglo, incluso en las últimas publicaciones, tanto de libros, como de artículos aparecidos en revistas y actas de congresos, se siguen citando una y otra vez las mismas fuentes. En el presente capítulo y en general en todo este trabajo, siempre que fue posible, se intentaron encontrar las referencias originales.

Lo anterior podría deberse a que la mayoría de las aplicaciones de la vegetación como controlador del microclima, se han investigado en el ámbito de la agronomía, climatología, ciencias forestales, etc. Fue hasta los años '70, a raíz de la crisis energética, con el "boom" de las fuentes renovables de energía, la arquitectura bioclimática, etc., que se empezó a considerar a la vegetación con fines de conservación energética, sin embargo, es hoy en día, cuando están vigentes temas como la ecología, los ambientes sostenibles, el efecto invernadero y la cada vez más preocupante contaminación ambiental, que ha tomado más fuerza ésta línea de investigación en el campo de la arquitectura y el urbanismo.

## 2.2 ACCIONES CLIMÁTICAS.

*La presencia de vegetación en las ciudades, altera el balance energético del clima a escala local, provocando variaciones en la radiación solar que llega a la superficie, en la velocidad y dirección del viento, en la temperatura ambiente y en la humedad del aire.*

*Estos efectos, aunque limitados, contribuyen, en gran medida, a mejorar la sensación de confort en los espacios exteriores urbanos, así como a amortiguar el impacto de los elementos climáticos sobre los edificios.*

### 2.1.1 VARIACIÓN EN LA INCIDENCIA DE RADIACIÓN SOLAR.

Uno de los usos más extendidos de la vegetación dentro del ámbito urbano, es seguramente, el control de la radiación solar. Su aplicación más inmediata es la de proporcionar sombra, sin embargo la vegetación tiene efectos sobre la radiación solar que no son tan evidentes. Del 100% de la energía solar incidente, las plantas absorben para la fotosíntesis aproximadamente el 5-20%, reflejan 5-20%, disipan por evapotranspiración 20-40%, emiten 10-15% y transmiten el 5-30% (1). Dado que la radiación solar está compuesta por diferentes longitudes de onda, los porcentajes mencionados varían de acuerdo con el espectro que se esté manejando, en la tabla 2.1 se muestran valores promedio para diferentes longitudes de onda.

	Longitud de onda $\mu\text{m}$	Reflexión	Transmisión	Absorción
Fotosíntesis	0,38 - 0,71	9%	6%	85%
Cercano infrarrojo	0,71 - 4,00	51%	34%	15%
Onda corta	0,35 - 3,00	30%	20%	50%
Onda larga	3,00 - 100,0	5%	0%	95%

Tabla 2.1. Coeficientes promedio de reflexión, absorción y transmisión de una hoja verde para diferentes longitudes de onda según Oke (2).

Para un árbol completo los valores arriba citados cambian considerablemente dado que también estarán involucradas las ramas, el tronco, la estructura, forma, distribución y densidad del follaje, además de las características de foliación de cada especie. Desde el punto de vista del control de la radiación solar las especies más interesantes son las caducifolias. Para climas templados el árbol ideal, sería aquel tuviera la más baja transmisividad en verano y la más alta durante el invierno. También sería deseable que el ciclo de foliación ocasionara variaciones de la transmisividad en armonía con las necesidades de calentamiento y enfriamiento de los espacios urbanos y arquitectónicos.

En la tabla 2.2 se muestran valores de transmisividad de cuatro de las especies más usadas en Barcelona como arbolado urbano, para los diferentes tipos de radiación solar y estaciones del año.

Especie	Tipo de radiación	Transmisividad %			
		Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Platanus acerifolia (Plátano común)	Global	60.0	9.8	23.9	41.1
	Difusa	75.3	13.7	29.4	49.1
	Directa	56.5	8.9	22.7	39.3
Morus alba (Morera)	Global	34.3	31.4	38.7	66.4
	Difusa	44.8	39.8	47.6	74.1
	Directa	31.9	29.5	36.7	64.6
Fraxinus excelsior (Fresno común)	Global	20.9	16.2	65.8	70.5
	Difusa	22.4	27.3	61.1	68.3
	Directa	20.6	13.7	66.9	71.0
Melia azedarach (Melia)	Global	30.5	25.8	41.2	45.6
	Difusa	21.3	17.2	36.1	42.8
	Directa	32.4	22.9	42.4	46.2

Tabla 2.2. Valores medios de transmisividad para cuatro especies de árboles y diferentes tipos de radiación solar (3).

Para condiciones de invierno, el Fresno (*Fraxinus excelsior*) mostró la mayor transmisividad, bloqueando menos de un tercio (29,5 %) de la radiación global. La más baja se observó en el Plátano (*Platanus acerifolia*) que bloqueaba más de la mitad (58,9 %).

Para sombra en verano, el plátano es la mejor elección; sólo un décimo de la radiación global (9,8 %) pasaba a través de su follaje. La especie menos favorable fue el fresno, que bloqueaba poco más de dos terceras partes (63,2 %).

Otras de las propiedades radiativas de la vegetación son el albedo y la emitancia. Para describir la cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie, se utiliza el término albedo, un albedo de 1,0 corresponde a una superficie que refleja el 100 %, mientras que un albedo de 0,0 se refiere a una superficie que absorbe toda la radiación solar incidente. En la tabla 2.3 se muestran valores de albedo y emitancia superficial de onda larga de algunos elementos encontrados frecuentemente en el paisaje urbano.

Tipo de superficie	Albedo %	Emisividad %
<b>Suelos</b>	5-95	90-98
Húmedo oscuro cultivado	5-15	
Húmedo gris	10-20	
Seco arenoso	25-35	84-91
Húmedo arenoso	20-30	
Dunas de arena seca	30-75	
<b>Vegetación</b>	5-30	90-99
Césped	20-30	90-95
Campos verdes	3-15	
Campos de trigo	15-25	
Pradera	10-30	
Chaparral	15-20	
Pastizal	25-30	
Bosque mixto	5-20	
Caducifolias sin hojas	15	97
Caducifolias con hojas	20	98
Coníferas	5-16	97-98
Bosque pantanoso	12	97-99
<b>Agua</b>	5-95	92-97
Altura solar alta	5	92-97
Altura solar baja	95	92-97
Nieve fresca y limpia	70-95	99
Nieve vieja	40-70	82
<b>Superficies Urbanas</b>		
Asfalto	5-15	95
Hormigón	10-50	71-90
Ladrillo	20-50	90-92
Piedra	20-35	85-95
Pintura blanca	50-90	85-95
Pintura roja, verde, café	20-35	85-95
Pintura negra	2-15	90-98

Tabla 2.3. Características radiativas de diferentes superficies encontradas en el paisaje urbano.

En cuanto a la iluminación natural, la transmitancia de los árboles a la luz visible, es sensiblemente menor a la del total del espectro de la radiación solar, lo anterior se debe a que las plantas en general están especialmente preparadas para absorber la parte visible del espectro solar (entre 0,35 y 0,75 mm), que es la más abundante, para utilizarla en la fotosíntesis. Según Brown & Gillespie(4), del total de la radiación visible, solamente 10% es reflejada y 10% es transmitida a través de las hojas. Por el contrario, cerca del 30% de la infrarroja es transmitida, 40% reflejada y solo 20% absorbida. Es por esto que aún bajo la sombra de un tupido grupo de árboles, estaremos recibiendo más radiación solar de la que perciben nuestros ojos, sobre todo en la parte correspondiente al cercano infrarrojo. Esta relación se puede apreciar claramente en la figura 2.1.

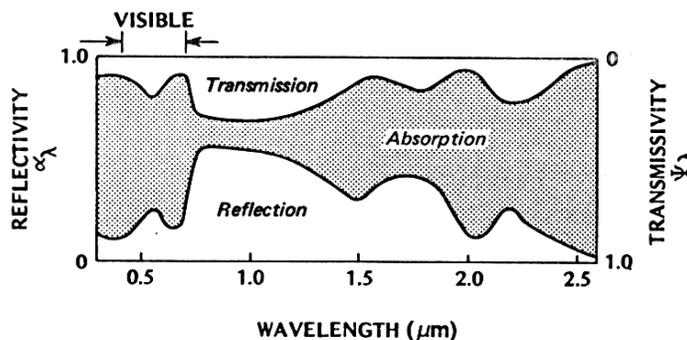


Figura 2.1. Relación idealizada entre longitud de onda y transmisividad, reflectividad y absorptividad, de una hoja verde (5)

La iluminancia bajo un grupo de árboles, está compuesta de radiación difusa y de una cantidad variable de radiación directa que pasa a través del follaje de éstos. La altura de la vegetación, su edad, el tipo de hojas y la especie, determinarán la iluminancia bajo una cubierta vegetal.

Otro factor importante es el tipo de agrupamiento, al respecto L. Mascaró, 1996 (6), ha hecho mediciones en tres diferentes situaciones:

- a) Árbol aislado o grupo de éstos, dispuestos de manera que no se toquen sus copas.
- b) Grupo heterogéneo compuesto por diversas especies y tamaños de árboles.
- c) Árboles en grandes grupos homogéneos.

En la tabla 2.4, se muestran las iluminancias bajo la vegetación en diferentes tipos de grupos y épocas del año:

Tipo de agrupamiento	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Árbol aislado	2700-7700	2500-14000	1500-23000	6500-20000
Grupo heterogéneo	1500-4700	1400-4400	2600-3800	-
Grupo homogéneo	9000-10000	400	600-800	390-1000

Tabla 2.4 Iluminancia en zonas sombreadas por vegetación para 30° latitud sur, (Porto Alegre, Brasil).

Wingartner, 1994 (7), ha medido la transmitancia de varias especies de árboles a la luz natural: Jacaranda mimosaeifolia : invierno 22,5%, primavera 13,7%, verano 4,3%. Tipuana tipu : Invierno 42,5%, primavera 11,5%, verano 4,6%. Estos valores pueden

aumentar con cielo nublado hasta 5 veces, debido a que la componente directa de la radiación solar es casi imperceptible o nula.

Según Mascaró (op. cit), la transmitancia media a la luz natural para especies caducifolias, es: 40% en invierno y 5% en verano, desde luego que estos valores cambiarán ligeramente de acuerdo con las características de cada especie.

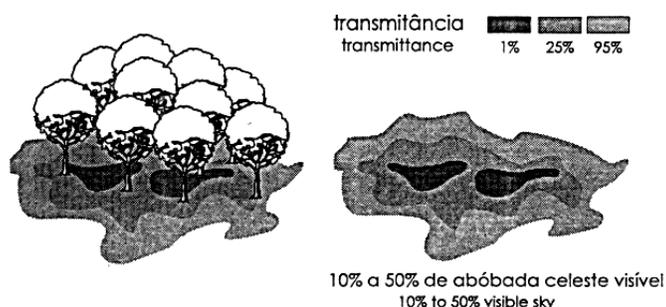


Figura 2.2. Variación de la iluminancia según la posición bajo el árbol o grupo de árboles (8).

### 2.1.2 VARIACIÓN EN LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.

En ambientes urbanos con una alta densidad de construcción, el viento, a niveles cercanos al suelo, está definido principalmente por la estructura urbana, es decir, la anchura de las calles, la altura de los edificios, la continuidad y dirección de la trama urbana, las diferencias entre alturas de los edificios, etc. La vegetación tiene, en estos casos, un efecto menos apreciable.

En zonas suburbanas, con predominio de viviendas unifamiliares, los efectos de la vegetación sobre el viento son más apreciables, al respecto Heisler 1989 (9), encontró que incluso árboles dispersos, pueden tener un efecto significativo. En la figura 2.3 muestran los resultados de éste estudio, dependiendo de la densidad de construcción, un aumento del 10 % en el área cubierta por árboles, puede reducir del 10 al 20 % la velocidad del viento, y uno del 30 % puede reducirla del 15 al 35 %. Aún en el invierno, cuando muchos de los árboles han perdido sus hojas, éstos siguen conservando entre 50 y 90 % de su poder protector.

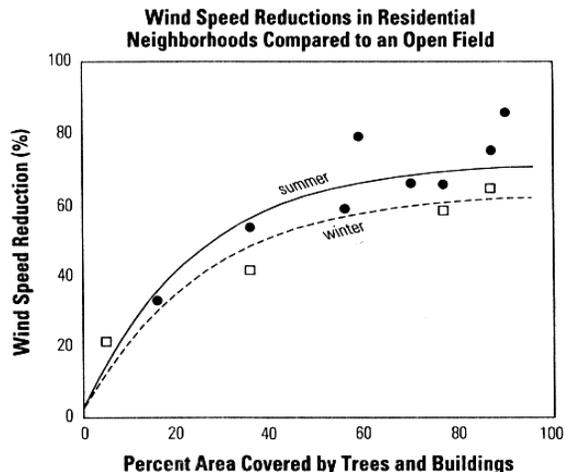


Figura 2.3. Reducción en la velocidad del viento para diferentes densidades de la trama urbana (edificios + árboles) comparado con una zona de control sin árboles ni edificios.

Es en los grandes espacios abiertos, donde las masas arboladas tienen una gran influencia en la velocidad del viento, y pueden reducir la velocidad hasta un tercio, en comparación de la que habría en campo abierto. Fons 1940 (10) hizo mediciones de la velocidad del viento en un bosque de coníferas de 45 a 50 años de edad. Los árboles tenían una altura de 21 m y su follaje llegaba hasta 3 m sobre el suelo, el área abierta era de 900 por 300 m y estaba recubierta de hierba de 15 cm de altura en promedio, en pruebas preliminares se determinó que la velocidad del viento en el área abierta no estaba influida por los alrededores. Cuando la velocidad a 43 m de altura, era de 2,2 y 4,5 m/s, se tomaban medidas simultáneamente en campo abierto y en el área boscosa, a distintas alturas (tabla 2.5).

Altura m	Velocidad m/s		Reducción %	Velocidad m/s		Reducción %
	campo abierto	bosque		campo abierto	bosque	
43.0	2.2	2.2	0.0	4.5	4.5	0.0
27.0	2.2	2.1	5.0	4.4	3.8	5.0
21.0	2.1	1.3	38.0	4.3	1.7	61.0
12.0	2.1	0.5	76.0	4.0	0.6	85.0
6.1	2.0	0.5	75.0	3.6	0.6	83.0
3.0	1.9	0.5	74.0	3.3	0.7	79.0
1.5	1.8	0.6	67.0	3.0	0.8	73.0
0.8	1.7	0.6	65.0	2.6	0.9	65.0
0.5	1.6	0.6	62.0	2.3	0.8	65.0
0.2	1.5	0.4	73.0	2.1	0.6	71.0

Tabla 2.5. Influencia de una masa boscosa sobre la velocidad del viento, a diferentes alturas.

Otro aspecto que está muy desarrollado es el de las barreras protectoras, usadas sobre todo en la agricultura para proteger cultivos delicados y evitar la erosión del suelo, sin embargo los resultados de estas investigaciones son fácilmente extrapolables al diseño arquitectónico siempre y cuando se trate de construcciones ubicadas en zonas de baja densidad de construcción.

El grado de protección contra el viento que brinda una barrera depende básicamente de la velocidad y dirección del viento, de las dimensiones de la barrera (altura, anchura y longitud), de la densidad y penetrabilidad del material que la constituye y finalmente de su forma.

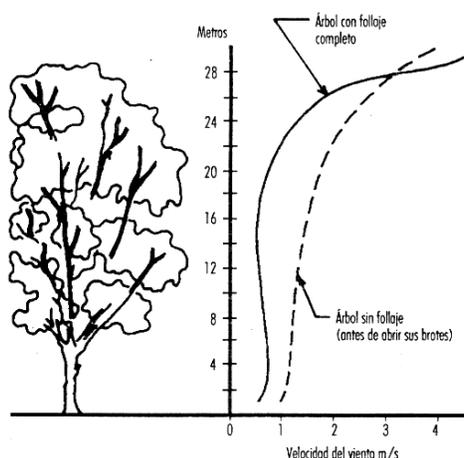


Figura 2.4. Influencia del follaje en el perfil de la velocidad del viento en un bosque de robles con hojas y sin ellas, (13).

El aspecto más importante de las barreras compuestas por vegetación es la permeabilidad, tanto más densa sea la obstrucción, mayor será la reducción del viento a sotavento, sin embargo su efecto se aminora a distancias más cortas que con las barreras menos densas, por lo que una densidad media será la más efectiva, además de producir menos turbulencias. Según Robinette (11) los mejores resultados se obtienen con densidades entre el 30 y 40 %, también cita que la vegetación caducifolia puede conservar hasta el 60 % de su efecto reductor en invierno (figura 4). El mismo autor afirma que la barrera debería de ser menos porosa cerca del suelo donde la velocidad es menor. Lo ideal sería que la densidad de esta aumentara con la altura según la velocidad del viento. En la figura 2.5 y la tabla 2.6, se muestran los resultados de experimentos

realizados en Suiza por Nægely y Caborn 1946 (12), con 12 barreras diferentes de 30 pies de altura (9,14 m), la velocidad del viento se midió a 1,44 m del suelo.

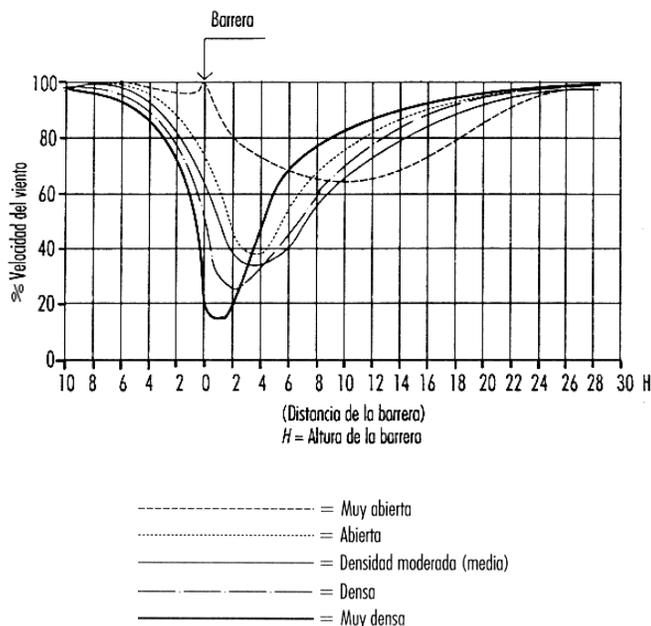


Figura 2.5. Reducción de la velocidad del viento a sotavento de barreras de diferentes densidades.

Densidad de la barrera	Reducción de la velocidad del viento %			
	5 H	10 H	15 H	30 H
Muy abierta	18	24	25	18
Abierta	54	46	37	20
Densidad media	60	56	48	28
Densa	66	55	44	25
Muy densa	66	48	37	20

H = altura de la barrera.

Tabla 2.6. Reducción de la velocidad del viento a sotavento en una barrera de 30 pies (9,14 m) de altura con diferentes densidades.

En otro estudio similar realizado en la Estación Agrícola Experimental de Kansas, E. U. U., Olgay (14), muestra los resultados obtenidos en un túnel de viento, de cuatro barreras, tres sólidas con secciones diferentes y una de modelos de árboles con porosidad del 60 %. Olgay apunta que aún cuando la reducción en la barrera de árboles no llega al 60 % su efecto se extiende hasta 27 H, con una reducción del 25 %, esto significa entre 20 y 50 % más lejos que las otras barreras (figura 2.6).

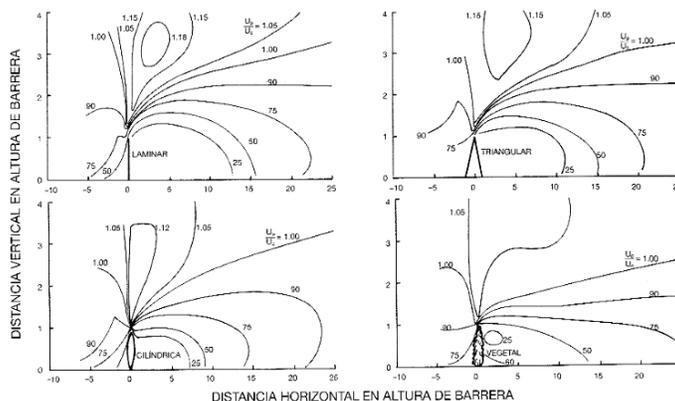


Figura 2.6. Influencia de la forma y densidad de la barrera sobre el perfil de la velocidad del viento.

En cuanto al encauzamiento del viento, Robert F. White 1945(15), encontró que la vegetación y otros elementos del paisaje, tienen efectos bien definidos sobre el viento alrededor de las edificaciones, creando zonas de presión negativa y positiva, sobre la piel del edificio y sus aberturas. Se deberá tener especial cuidado en no obstruir la ventilación en verano, así como no propiciar corrientes de aire frío en invierno. White hizo experimentos en el túnel de viento donde analizó los efectos de barreras colocadas en distinta posición en relación con una casa a escala, (figura 2.7).

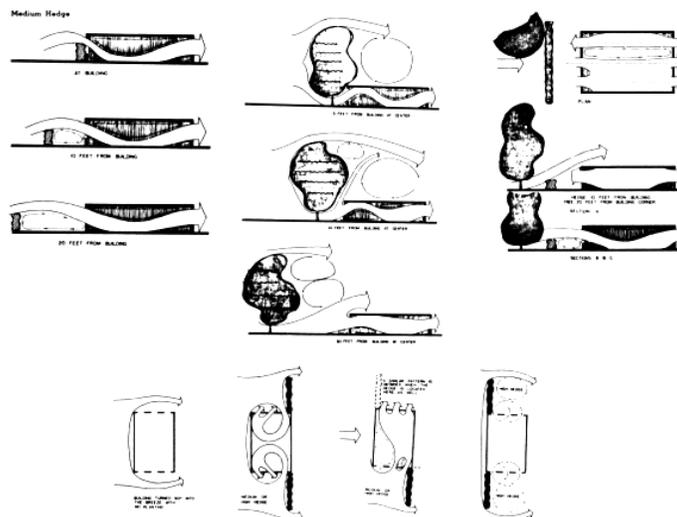


Figura 2.7. Encauzamiento del viento por medio de la vegetación para proteger o ventilar un edificio.

### 2.1.3 VARIACIÓN EN LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL AIRE.

La reducción de la temperatura ambiente y el aumento en la humedad del aire en presencia de vegetación, se debe al efecto de sombra proyectada sobre las diversas superficies, pero sobre todo al fenómeno de la evapotranspiración, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas, otra pequeña contribución se debe a la humedad del suelo. Sin embargo, el efecto de un árbol aislado no es muy significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos del aire, ya sea por viento o convección.

Pero cuando se trata de un microclima aislado de los sistemas atmosféricos predominantes, entonces si es posible apreciar los efectos de la vegetación. Un ejemplo serían los grandes parques en áreas densamente urbanizadas, rodeados de edificios altos en todos sus costados, o bien los patios interiores de manzana y de los edificios.

Sobre el efecto refrescante de la vegetación en ambientes urbanos se encontraron algunas referencias.

Al respecto Oke (16) reporta, en mediciones hechas en distintas ciudades, diferencias de temperatura ambiente de más de 3°F, entre parques urbanos y las zonas edificadas circundantes (Figura 2.8).

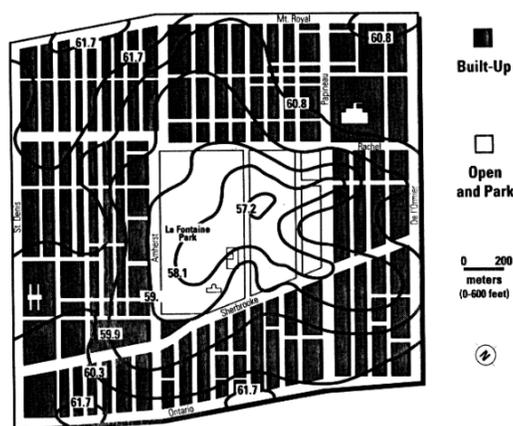


Figura 2.8. Distribución de las temperaturas (°F) en el LaFontaine Park y sus alrededores en Montreal, Canadá. Nótese que las temperaturas son menores sobre el parque debido a la acción de la vegetación.

Estudios similares se hicieron en el parque zoológico de Berlín (212 ha de superficie verde en el centro de la ciudad) donde las diferencias de temperatura fueron de 5-7°C y la humedad relativa variaba un 10% (17).

También en zonas rurales las temperaturas de las zonas densamente arboladas son menores que en campo abierto, donde las diferencias llegaron hasta 5°C, y la humedad relativa variaba hasta 16%. Las mediciones se hicieron en un bosque de coníferas en Cecina, Italia. Tabla 2.7, (citado en 18).

<b>Humedad Relativa %</b>			
	<b>Campo abierto</b>	<b>Bajo el bosque</b>	<b>Diferencia</b>
Media anual 6 a.m.	97,9	96,7	-1,2
Media anual 2 p.m.	67,1	82,3	15,2
Diferencia	30,8	14,4	-16,4
Mayor diferencia entre la media mensual a las 6 a.m. y a las 2 p.m.	51,8	42,9	-8,9
Menor diferencia entre la media mensual a las 6 a.m. y a las 2 p.m.	10,7	2,7	-8,0
Diferencia entre las extremas máxima y mínima a las 2 p.m. para todo el período.	77,0	72,0	-5,0

<b>Temperatura del aire °C</b>			
	<b>Campo abierto</b>	<b>Bajo el bosque</b>	<b>Diferencia</b>
Media máxima anual	32,1	28,4	-3,7
Media mínima anual	21,4	22,5	1,1
Diferencia	10,7	5,9	-4,8
Oscilación máxima diaria	18,5	13,5	-5,0
Oscilación mínima diaria	1,0	0,3	-0,7
Diferencia entre la extrema máxima y la extrema mínima, todo el período	27,7	24,0	-3,7

Tabla 2.7. Diferencias de temperatura y humedad entre un bosque de coníferas medidas en Cecina, Italia.

L. Mascaró (op. cit.) reporta variaciones de entre 3 y 8 °C para distintas composiciones y especies de árboles, las mediciones se hicieron también en distintas épocas el año (tabla 2.8). La oscilación de la temperatura es siempre menor bajo grupos de árboles que bajo especímenes aislados.

<b>Agrupamiento</b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>	<b>Primavera</b>	<b>Invierno</b>
Árbol aislado	-3,7 a -1,3	-	-	-8 a 1,0
Grupo heterogéneo	-4,4	-3,6 a -2,8	-	5,0
Grupo homogéneo	-4,7	-3,1	-3,7 a 3,2	-5,1

Tabla 2.8. Variaciones de temperatura observadas bajo la sombra de vegetación.

*COMENTARIO. Como hemos visto, la vegetación afecta todos los parámetros climáticos a diversas escalas dentro del ámbito urbano; el grado de impacto dependerá, desde luego, de las características intrínsecas de ésta, pero también tienen un papel importante la tipología y densidad de la trama urbana.*

*La radiación solar y el viento, son los parámetros más influidos por la vegetación. La sombra producida por los árboles sobre las diversas superficies urbanas y sus habitantes, es quizá, una de sus propiedades más apreciadas, sin embargo tiene otros efectos que no se perciben a simple vista, pero que pueden ser casi igual de importantes, como es la modificación de la temperatura media radiante.*

*En cuanto al viento, está clara su eficiencia como pantalla protectora, ya sea desviándolo o bien disminuyendo su velocidad, además de protección también puede conducir las corrientes de aire para proporcionar ventilación en sitio adecuado.*

*La temperatura y humedad del aire son los parámetros menos influidos, ya que las corrientes de aire dispersan rápidamente cualquier modificación, salvo que se trate de grandes masas arboladas o zonas confinadas.*

## 2.3 EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES CLIMÁTICAS DE LA VEGETACIÓN.

Hasta el momento solo se han analizado los efectos que la vegetación tiene sobre el microclima. En esta sección se hablará de dos aspectos esenciales para la aplicación de estos conceptos en un proyecto urbano o arquitectónico: la evaluación de los efectos de la vegetación tanto en espacios exteriores y en los requerimientos energéticos para el acondicionamiento ambiental de los edificios.

### 2.3.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO CLIMÁTICO DE LA VEGETACIÓN EN ESPACIOS EXTERIORES.

*Una vez analizada la influencia de la vegetación en el microclima urbano, es necesario poder evaluar sus efectos, para esto será indispensable tener un método que nos lo permita; éste debe ser lo suficientemente fiable a la vez que sencillo de aplicar, sin embargo, son pocos los autores encontrados que muestran de manera clara y directa como hacerlo.*

*A continuación se describen algunos de los trabajos realizados a este respecto, pasando por libros, artículos en revistas y congresos, así como publicaciones institucionales fruto de investigaciones en este campo.*

En la bibliografía existen algunos autores como R.Geiger (1965) (19) y T. R. Oke (1990) (20) que sientan las bases para el estudio del microclima, pero su aplicación para alguien que no es especialista en el tema es complicada.

Otros, como G. O. Robinette (1983) (21), Alessandro et al. (1987) (22) o Lowry (1991) (23), están más dirigidos a lo que es la arquitectura y el urbanismo, sin embargo, más que un método presentan un "estado del arte" en lo que a este tema se refiere.

Por otro lado están trabajos como los de Akbari et al. (1992) (24) o Brown & Gillespie (1995) (25), que dan una serie de recomendaciones sobre el uso de la vegetación con fines de control microclimático, pero enfocadas sobre todo a lo que son casas aisladas al estilo norteamericano, lo que resulta poco adecuado para las grandes ciudades con una alta densidad de construcción, como es el caso de Europa o Latinoamérica.

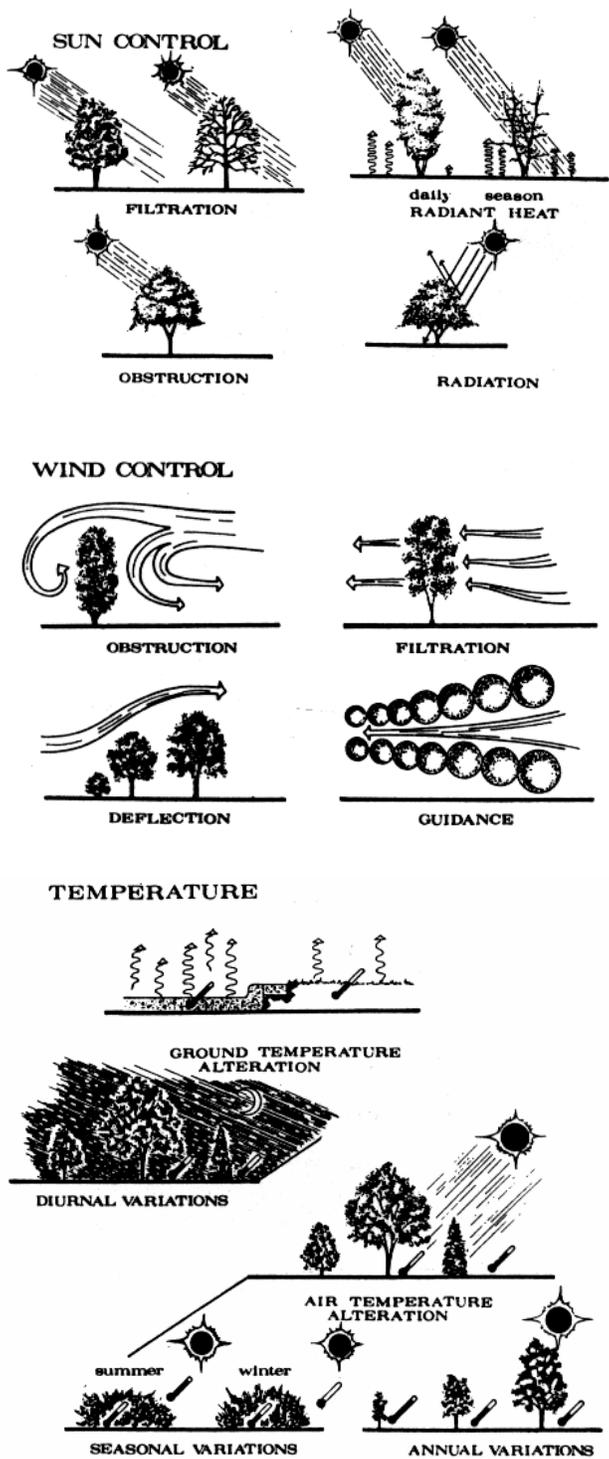


Figura 2.3.1 Efectos climáticos de la vegetación según Robinette (op. cit.).

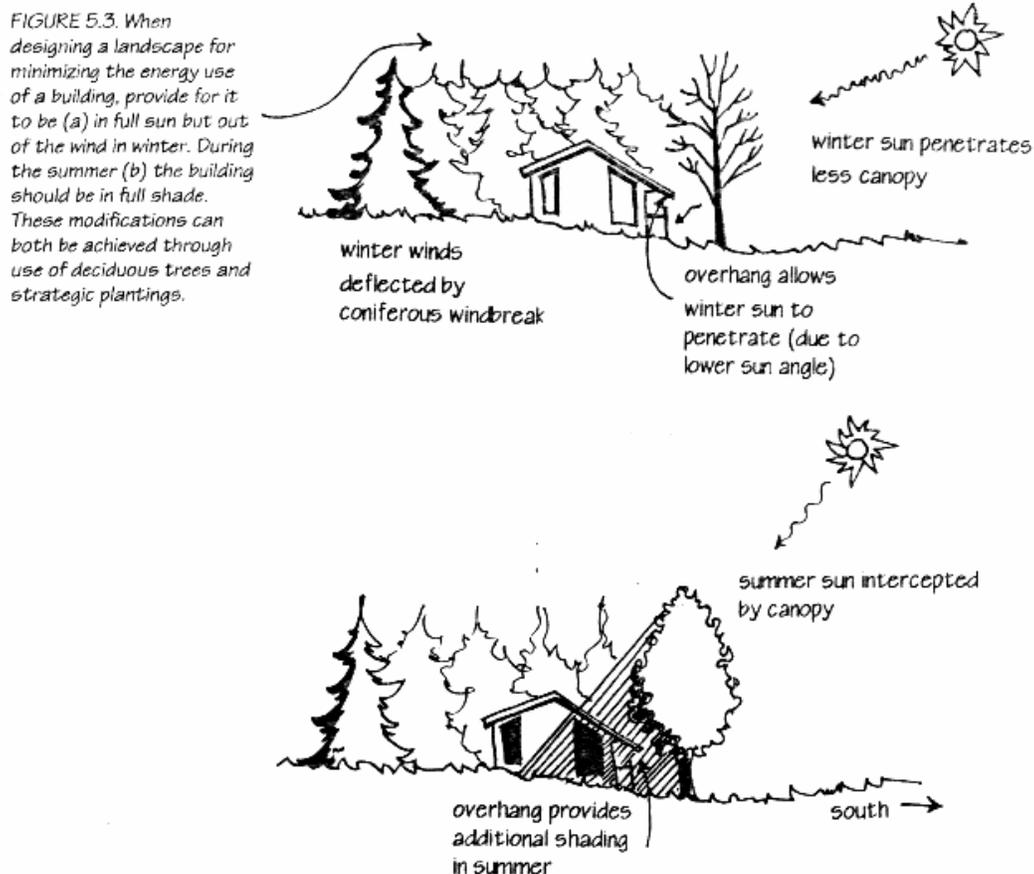


Figura 2.3.2 Utilización de la vegetación para minimizar los efectos del clima en una casa. Brown & Gillespie (*op. cit.*).

Existen algunos estudios como el de Arnfield (1990) (26), que sugiere una metodología para simular el balance de radiación para distintas geometrías urbanas.

Oke (1988) (27) da unas pautas de diseño para mejorar la dispersión de contaminantes, maximizar el "cobijo" de los viandantes en las calles e incrementar el calentamiento urbano. Todo esto para ciudades de latitudes medias o sea entre 40° y 50° de latitud.

Burt et al. (1982) (28) proponen un modelo para analizar el balance energético del cuerpo humano y la temperatura de la piel en espacios abiertos.

Sin embargo estos tres últimos trabajos casi no han considerado, o bien no lo han hecho, el papel que juega la vegetación dentro del microclima urbano.

H. Swaid (1995) (29) desarrolla un método bioclimático de diseño para espacios urbanos abiertos, considerando la vegetación como un factor importante dentro de su modelo.

Una de las mejores publicaciones sobre este tema es la desarrollada por J. J. Guerra Macho et al. (1994) (30), donde se dan una serie de pautas de diseño muy precisas para el acondicionamiento climático de espacios exteriores, haciendo énfasis en el uso de la vegetación. Lamentablemente no se incluye ninguna metodología de cálculo para estimar el resultado de tales intervenciones.

*COMENTARIO: Resulta interesante el hecho de que aun cuando existe mucha información sobre los efectos microclimáticos de la vegetación, pocos son los autores que se han atrevido a hacer una estimación cuantitativa de éstos, e integrarlos en el proceso habitual de diseño. Esto quiere decir, traducir todo este conocimiento del "lenguaje de los especialistas" al "lenguaje de los diseñadores", ya que son estos últimos los que finalmente lo aplicarán en sus proyectos.*

### **2.3.1 REPERCUSIONES EN LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS PARA ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL.**

*El interés de la Arquitectura por el control del microclima, no se limita a mejorar el confort de los espacios exteriores, el efecto de los elementos del microclima en el intercambio térmico entre la piel de un edificio y el medio ambiente puede ser muy significativo, tanto en invierno como en verano.*

*A este respecto se han hecho estudios de la forma en que el uso de vegetación puede controlar estos intercambios de energía, la mayoría de ellos comparan el consumo de energía en edificios "convencionales" y edificios cuyo entorno ambiental ha sido modificado con diversos tipos de vegetación, a continuación se resumen los aspectos principales de los más significativos.*

En la Estación de Experimentación Forestal de Nebraska, E. E. U. U. , durante el invierno de diciembre de 1954 se hicieron mediciones del combustible necesario para mantener a una temperatura interior constante de 70° F en dos casas idénticas, una expuesta al viento y otra protegida por una barrera de árboles. El ahorro de combustible de la casa protegida fue de 22,9 % con respecto a la no protegida(31).

Otro estudio similar pero más reciente es el de John H. Parker (32), en este artículo se documentan los resultados de las mediciones hechas en una casa móvil que servía como guardería, en el clima cálido y húmedo de Florida, EE.UU.

Comparaciones de los consumos de energía antes de protegerla con vegetación y dos años después, mostraron ahorros de hasta el 60% durante los días más cálidos del verano y del 30 al 40% para toda la temporada, además del menor consumo eléctrico, se utilizó un equipo de aire acondicionado de menor tamaño.

Se muestran los gráficos de los perfiles de consumo de energía eléctrica y un esquema de la disposición de la vegetación en relación a la casa (figuras 2.9 y 2.10).

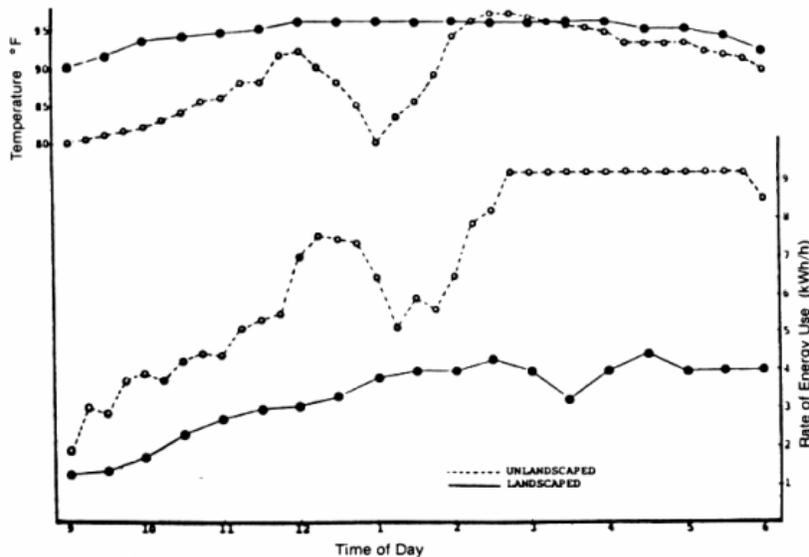


Figura 2.9. Comparación de los promedios de consumo y las temperaturas exteriores de dos días, uno antes del ajardinamiento y otro dos años después del mismo.

V. Olgyay (op. cit), hace una comparación entre una casa "ortodoxa" y una "equilibrada", como el les llama, la casa balanceada está protegida por árboles caducifolios al sudoeste y al sudeste, la ortodoxa no tiene ninguna protección. En este estudio se aprecia de una manera gráfica, como durante el invierno la las pérdidas de calor en la casa balanceada son menores que en la ortodoxa, inclusive existen ganancias en la fachada sur durante el día. En cambio durante el verano, las ganancias de calor que

experimenta la casa ortodoxa, son mucho mayores que las de la casa balanceada (Figura 2.11).

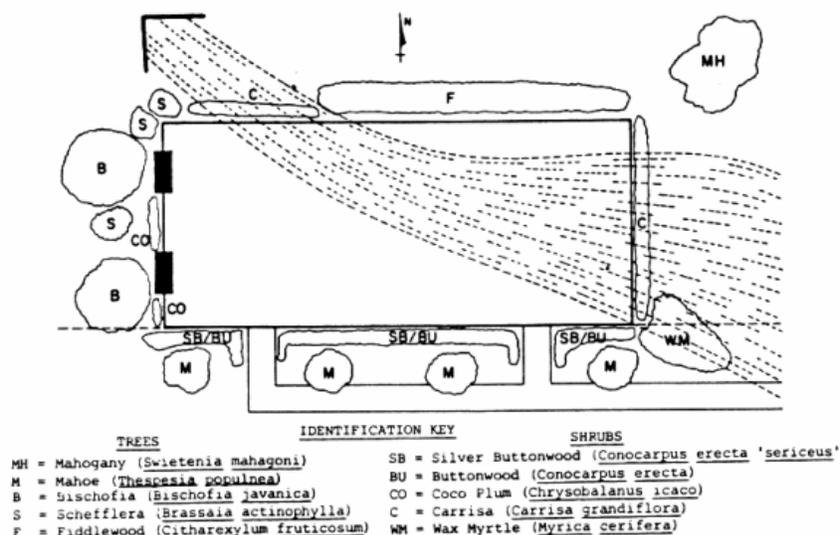


Figura 2.10. Esquema de la situación general de la vegetación alrededor de la casa.

Barroso-Krause (33), hace un estudio donde simula por ordenador los efectos que tendría una "pantalla vegetal" sobre un techo, donde se obtuvieron diferencias en el consumo de energía para climatización del orden del 50%.

McPherson et al. (34) también basados en simulaciones por ordenador, estudian el impacto de la vegetación en la climatización de edificios, analizando el efecto sobre la radiación solar y el viento, el estudio fue hecho para 4 ciudades de los Estados Unidos, tratando de abarcar los diferentes climas de este país.

Encontraron que en climas fríos la sombra de especies perennifolias puede incrementar los costos de calefacción hasta un 21%, y la sombra proyectada por las ramas de las caducifolias tiene efectos menos importantes. Sin embargo, en ciudades con climas cálidos o templados, una sombra densa sobre toda la piel de los edificios reducía los costos de climatización (aire acondicionado), del 53 al 61% y las cargas térmicas para enfriamiento, entre el 32 y el 49%.

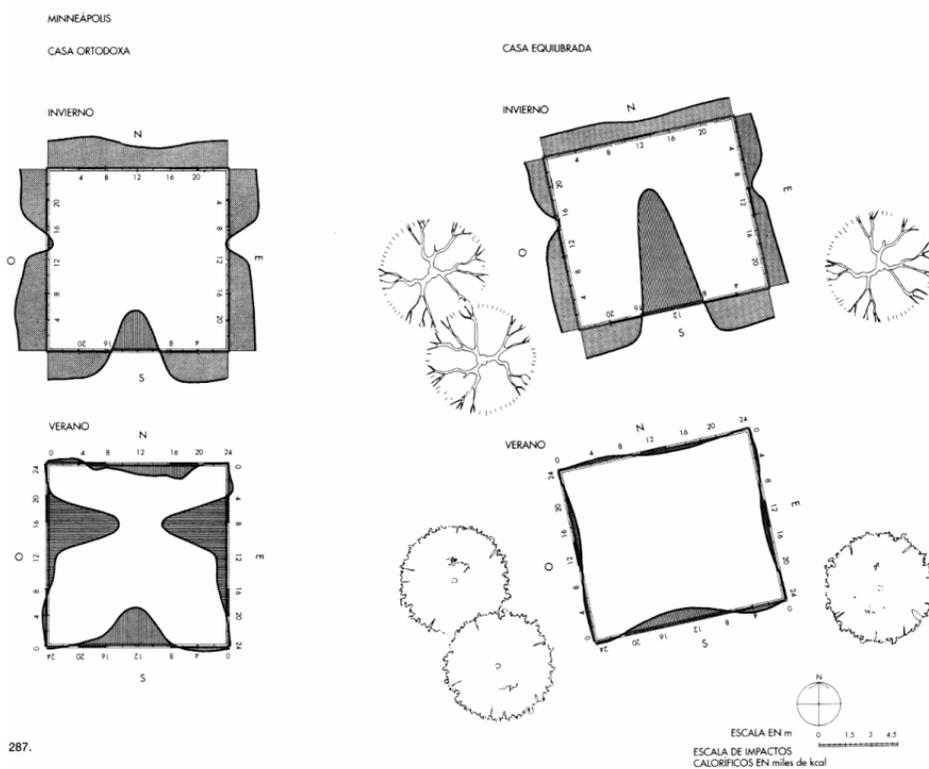


Figura 2.11. Comparación de las pérdidas y ganancias térmicas, entre dos casas una sin vegetación y otra protegida por árboles estratégicamente plantados, a lo largo de un día de invierno y otro de verano.

Por otro lado encontraron que las reducciones en la velocidad del viento eran beneficiosas en climas fríos, sin embargo en climas templados los efectos podrían ser contraproducentes si la vegetación está mal ubicada, por ejemplo, en Salt Lake City, una reducción del 50% en la velocidad del viento disminuía los costos anuales de calefacción en 8%, mientras que aumentaba los de enfriamiento 11% al obstruir las brisas en verano.

Su conclusión fue que los efectos de la vegetación pueden ser tan negativos como positivos, por lo que hay que tener un buen conocimiento de las especies vegetales y del clima local.

Y. J. Huang et al. (35), estudiaron los efectos de la sombra y la protección contra el viento, de los árboles en zonas residenciales de baja densidad, en E.E.U.U., usando información de estudios meteorológicos existentes. Una correlación de los efectos sobre el viento desarrollada por Heisler 1989 (op. cit.) y otra para el efecto de las sombras desarrollada por los autores, en conjunto con el programa de simulación DOE-2-2.1D, fueron usadas para estimar los cambios netos en los requerimientos energéticos para climatización (calor y frío) debidos al incremento de arbolado urbano

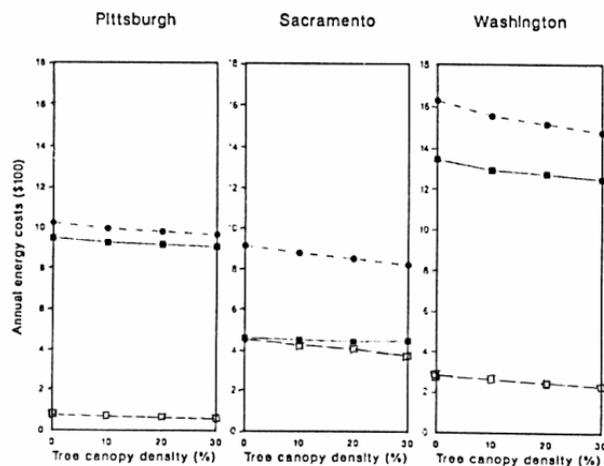
Se usaron dos tipologías de viviendas, una antigua (pre-1973), con muchas infiltraciones y aislamiento deficiente y otra moderna (1980), bien acondicionada. El estudio se hizo para siete climas representativos de los E.E.U.U.

En las casas pre-1973, plantar árboles alrededor de la casa podrían reducir la energía para acondicionamiento en climas fríos entre 4 y 8%, En climas cálidos las reducciones energéticas correspondientes serían de 13 a 20%. El ahorro en la potencia pico para calefacción serían de 4 a 16% y para enfriamiento de 6 a 22%.

Para las casas 1980, el ahorro máximo en consumo de energía para acondicionamiento ambiental, fué de 4 a 12% en climas fríos y en climas cálidos fué de 10 a 16%. El ahorro en potencia pico para calefacción fué de 3 a 20% y para aire acondicionado de 17 a 29%.

H. Akbari en su artículo "Summer Heat Islands, Urban Trees and White Surfaces" (Islas de Calor Estival, Arbolado Urbano y Superficies Blancas) (36), hace un análisis de los efectos positivos que tendría el aumentar el arbolado urbano y la reflectancia de las superficies de los edificios, en la absorción de radiación solar y en la temperatura estival de las ciudades, y el consecuente ahorro global en el consumo de energía eléctrica para climatización. El ahorro de energía estaría también relacionado con la producción de gases de invernadero como el CO<sub>2</sub> y el ozono O<sub>3</sub>, que son los que ocasionan el llamado efecto invernadero o calentamiento global de la atmósfera.

Casa pre-1973.



Casas 1982.

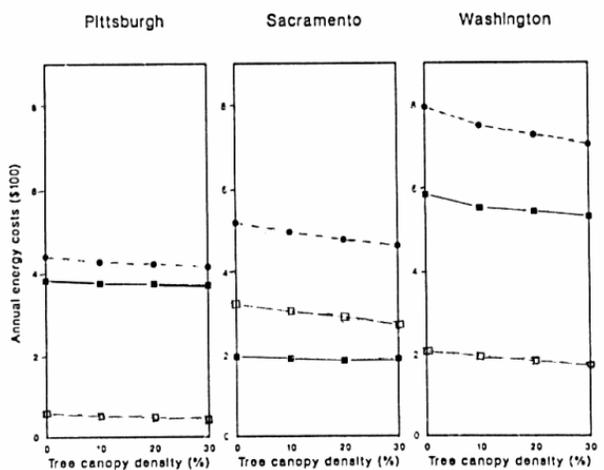


Figura 2.12. Consumo energético para acondicionamiento según la densidad del arbolado.

*COMENTARIO: Como hemos visto en los párrafos precedentes, los efectos de la vegetación en el consumo energético para acondicionamiento ambiental de los edificios, se puede estudiar desde dos puntos de vista diferentes: uno a nivel global, donde se analiza la influencia de la presencia de vegetación en una zona determinada, fijándose sobre todo en la distribución y en la proporción de ésta con respecto a la densidad de construcción, y otra más a detalle, tomando en cuenta los efectos microclimáticos, por ejemplo en una calle, una plaza o una casa aislada. Ambos estudios son valiosos, ya que de hecho se complementan.*

*Por otro lado es necesario mencionar que así como la correcta disposición de los árboles, el grado de cobertura de estos y la vegetación en general, tiene beneficios, una mala colocación puede acarrear efectos negativos, inclusive con una buena ubicación y con la correcta selección de especies, siempre se habrá alguna pequeña penalización energética.*

## 2.4 IMPACTOS NO CLIMÁTICOS DE LA VEGETACIÓN.

*Además de los que ya hemos analizado anteriormente, la vegetación tiene múltiples efectos, algunas veces paralelos, a otra función que ya está desempeñando, por ejemplo una barrera contra el viento, puede servir para controlar el ruido y a su vez como pantalla visual.*

*Además de estos efectos, que son apreciables con facilidad, existen, como veremos en esta sección una serie de funciones, adicionales a la de controladora del microclima, que puede desempeñar la vegetación urbana.*

### 2.4.1 VEGETACIÓN Y RUIDO URBANO.

Sólo existen algunas mediciones sistemáticas sobre la influencia de la vegetación en la atenuación del sonido y cualitativamente, la información reportada no es consistente.

Se han practicado estudios, principalmente en Italia (37) y Suiza (38), que prueban que la capacidad de absorción acústica de algunas especies vegetales, varía con el tamaño de las hojas y la densidad del follaje. Esta disminución es válida solo para frecuencias superiores a 2000 Hz, con valores de atenuación de 1 dB cada 10 m de profundidad, hasta un máximo de 10 dB a 100 m o más.

Meister y Ruhrberg 1959, (citado en 39) encontraron que para el tráfico urbano, la reducción del ruido está en función de la profundidad y altura de la barrera. Los resultados de su estudio se presentan en la tabla 2.9. Las pruebas se hicieron con árboles de 10 - 14 m de altura.

Tipo de vegetación	Frecuencia Hz					promedio todas freq
	200-400	400-800	800-1600	1600-3200	3200-6400	
Pinus Strobus*	0,80-0,11	0,13-0,15	0,14-0,15	0,16	0,19-0,20	0,15
Pinus Strobus **	0,10-0,11	0,1	0,10-0,15	0,16	0,14-0,20	0,15
Picea pungens*	0,10-0,12	0,14-0,17	0,18	0,14-0,17	0,23-0,30	0,18
Caducifolias densas	0,05	0,05-0,07	0,08-0,10	0,11-0,15	0,17-0,20	0,12-0,17
Maleza densa	0,13-0,15	0,17-0,2	0,18-0,35	0,20-0,40	0,30-0,50	0,25-0,35

\* medida tomada a la altura de la copa, \*\* medida tomada una altura de 1.5 m del suelo

Tabla 2.9. Reducción promedio del sonido por unidad de distancia ( dB/ m ) .

Se han realizado estudios similares sobre esta materia en Nebraska, (40), donde se evaluaron barreras vegetales en autopistas, plantadas originalmente para proteger el suelo. Éstas tenían cinco o seis hileras (20-30 m) de distintas especies de árboles, al menos de 14 m de altura y varios kilómetros de longitud. Las pruebas consistían en la

colocación de fuentes sonoras de un lado y equipos de medición en ambos. Lo común eran reducciones de 5 a 8 dB, y hasta 10 para ruidos de más de 80 decibelios.

Se constató la enorme influencia que tiene la posición relativa de la pantalla respecto a la fuente sonora: una pantalla colocada cerca de la fuente es más eficiente que otra junto a la zona que se desea proteger.

Atenuación de 4 a 6 dB	
Juniperus chinensis pfitzeriana	Lonicera maackii
Betula pendula	Crataegus x prunifolia
Alnus icana	Lonicera ledebourii
Cornus sanguinea	Acer negundo
Cornus alba	Populus canadensis
Pterocarya fraxinifolia	Corylus avellana
Forsythia x intermedia	Tilia cordata

Atenuación de 6 a 8 dB	
Philadelphus pubescens	Ilex aquifolium
Carpinus betulus	Rives divaricatum
Syringa vulgaris	Quercus rabur
Fagus sylvatica	Rhododendrum ss. pp.

Atenuación de 8 a 10 dB	
Populus x berolinesis	Vibrum rhytidophyllum
Vibrum lantana	Tilia platyphyllos

Atenuación de 10 a 12 Db	
Acer pseudoplatanus	

Tabla 2.10. Clasificación de los árboles y arbustos en función de la atenuación acústica, para frecuencias de 2000 a 10000 Hz y una profundidad de la barrera de 20 -30 m (41).

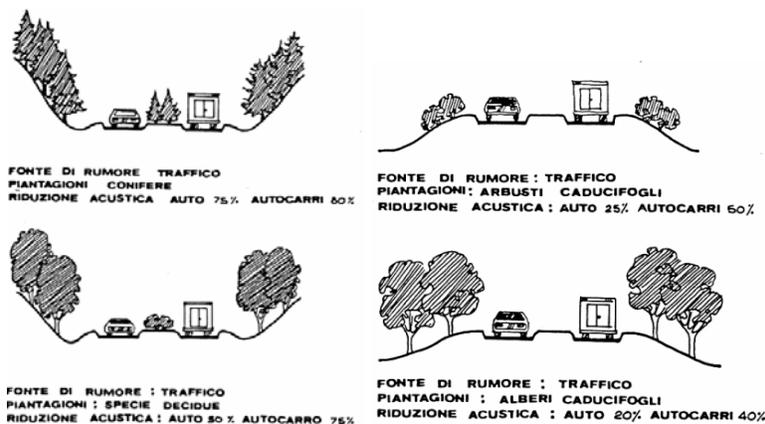


Figura 2.13. La reducción acústica depende de las características de las especie vegetal empleada y de su colocación (42).

También se estableció que las especies han de ser de hoja perenne, evitando las coníferas, que son las menos eficientes, en la tabla 2.10 se muestran los resultados de este estudio.

De los estudios anteriores se puede apreciar que el efecto de reducción del ruido debido a la vegetación es más bien pequeño. Sin embargo ésta tiene un efecto psicológico, sirviendo como pantalla visual entre la fuente de ruido y las personas afectadas.

Otra propiedad acústica de la vegetación, consiste en enmascarar los ruidos desagradables de fondo, con otros que resultan más agradables al oído humano, como el sonido que producen las hojas y ramas al moverse con el viento, o bien el canto de las aves que viven en los árboles (43).

Los árboles plantados a lo largo de las calles, tampoco reducen significativamente el nivel de ruido que llega a un edificio, pero pueden reducir el tiempo de reverberación en una calle debido a la absorción de la hojas.(44).

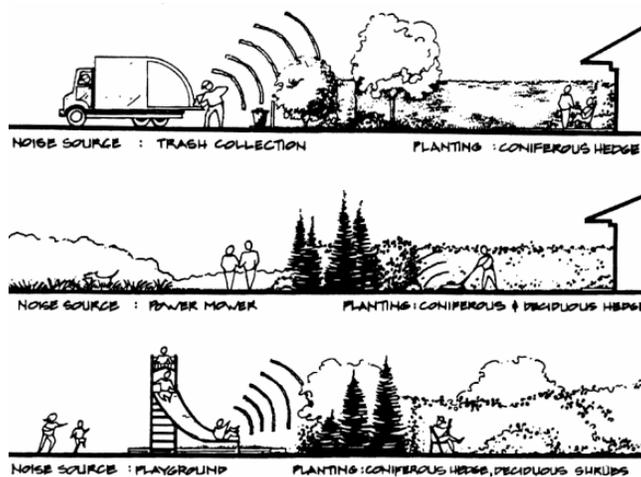


Figura 2.14. Barreras visuales para "control" del ruido (50).

Una de los artículos más recientes sobre el efecto del arbolado vial, es el realizado por A. Isalgué et al. (45). El estudio consistió en medir el nivel de ruido a distintas horas del día y en diferentes puntos situados sobre la calle y sobre la fachada del edificio a diversas alturas, al mismo tiempo se tomaron lecturas en un punto de

referencia situado en la azotea del edificio, donde se consideró que medía el ruido de fondo de la ciudad.

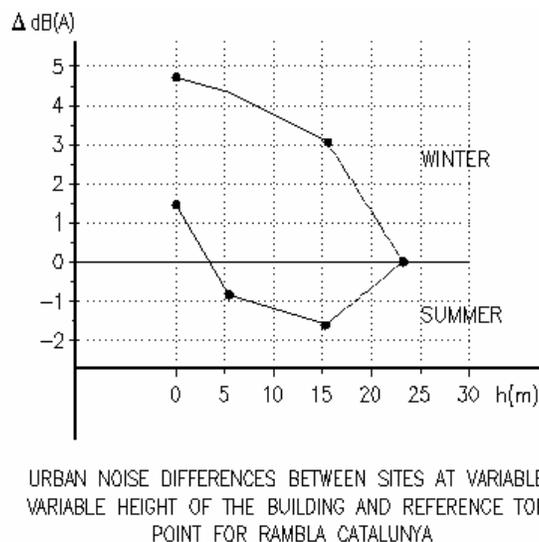


Figura 2.15. Diferencias en el ruido urbano entre los puntos situados a diferentes alturas y el punto de referencia situado en el sitio más alto, para los tres casos.

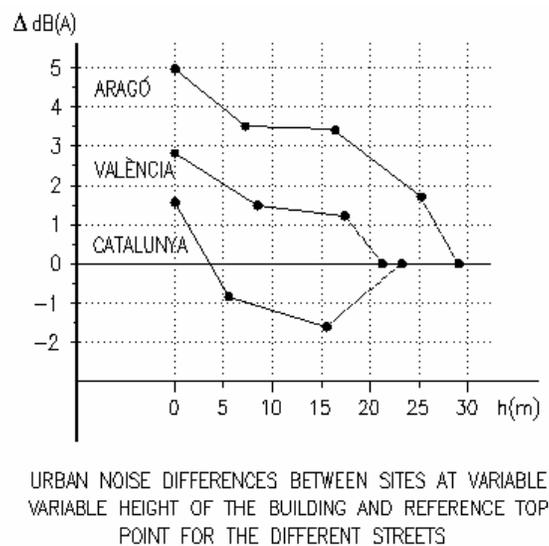


Figura 2.16. Diferencias en el ruido urbano entre los puntos situados a diferentes alturas y el punto de referencia situado en el sitio más alto, para Rambla Catalunya, los árboles con hojas y sin ellas.

Las mediciones se hicieron en tres calles con distinta configuración geométrica y cantidad de vegetación: Aragón, casi sin vegetación; València, con mediana vegetación y Rambla Catalunya con abundante vegetación. Los resultados fueron sorprendentes dado el escaso valor como atenuador del ruido, atribuido a la vegetación.

Se observó que las diferencias entre el punto de referencia y el punto de medición cambiaban con la altura (cuando más cerca de la calle la diferencia era mayor), pero en las calles con vegetación esta diferencia incluso era negativa (el nivel de ruido era menor cerca de la vegetación que en el punto de referencia) (figura 2.15).

En Rambla Catalunya también se hicieron mediciones en invierno, cuando los árboles no tenían hojas, y se observó que la curva de invierno era muy parecida a la de la calle sin árboles, es decir Aragón (figura 2.16).

## 2.4.2 VARIACIONES EN LA COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA.

Efectuaremos este análisis sin partir de una posición demasiado entusiasta, que sería irreal dada la limitada influencia, en este aspecto, de los espacios verdes dentro del ámbito urbano, pero tampoco negándola, ya que es cuantificable, como veremos posteriormente.

Puede empezarse el mismo, considerando que la vegetación es un elemento estimable como purificador de la atmósfera urbana, desempeñando varios papeles, unos más eficazmente que otros: como indicador biológico de la presencia de contaminantes peligrosos, como absorbedor de sustancias contaminantes o bien como filtro de partículas sólidas suspendidas en el aire, además de la producción de oxígeno mediante la fotosíntesis y la depuración bacteriana.

Favorece esta acción purificadora, en cualquiera de los casos anteriores, la superficie foliar que tiene la vegetación, dicho parámetro se determina a través del Índice de Área Foliar (IAF) que explicaremos más adelante (ver Anexo A). Para comprender esta circunstancia conviene tener en cuenta los siguientes datos significativos (46):

El césped de 10 cm de altura contiene por cada metro cuadrado cubierto una superficie verde de 20 m<sup>2</sup>.

Una haya de 25 m de altura tiene  $10 \text{ m}^2$  de superficie foliar por cada  $\text{m}^2$  de suelo que cubre. Este valor debe multiplicarse por 100 para obtener la superficie interna asimiladora, lo que equivale a  $1000 \text{ m}^2$  por cada  $\text{m}^2$  de suelo cubierto.

Un abeto de porte normal cuya copa tenga 15 m de diámetro, cubre una superficie de  $165 \text{ m}^2$ , por lo que tiene una superficie asimiladora de  $165.000 \text{ m}^2$ .

#### A) PRODUCCIÓN DE OXÍGENO.

Dado que el volumen total de oxígeno en la atmósfera tiene un valor fijo del 21% aproximadamente, no se puede afirmar que la vegetación produzca propiamente oxígeno, lo que en realidad hace es, mediante el proceso fotosintético, liberarlo del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producto de la descomposición de materia orgánica y de la combustión.

Pasando de la escala planetaria a una local, en las áreas urbanas, los procesos de combustión son tales, que el contenido de  $\text{CO}_2$  en el aire llega a niveles altísimos, en cambio, el de oxígeno libre ( $\text{O}_2$ ) disminuye drásticamente (particularmente en ausencia de viento).

En investigaciones hechas en Frankfurt (47) se observó que la concentración de  $\text{O}_2$  se reduce del 17 - 18 % en las áreas urbanas. Un área verde de adecuadas dimensiones puede desempeñar en estos casos, una importante acción reguladora.

#### B) RETENCIÓN DE POLVO Y MATERIAS RESIDUALES.

Ésta tiene lugar primeramente de una forma mecánica. Las partículas de polvo chocan con las hojas de la vegetación, las más pequeñas quedan pegadas en el limbo, mientras que las mayores se depositan gracias a su masa.

El rocío desempeña un papel muy importante, reforzando esta acción mecánica. También se ha observado que los órganos aéreos de las plantas (estomas), son especialmente aptos para fijar y sostener partículas de polvo y aceite.

Un segundo sistema de fijación se produce por efectos electrostáticos, a causa de los cuales las partículas finas y las pequeñas gotitas de escaso peso, se encuentran en su mayor parte electrizadas, siendo atraídas por la superficie foliar cargada en forma

contraria. Existe la teoría de que la evapotranspiración crea un campo electrostático, polo de atracción por lo tanto, de dichas partículas.

Para tener una idea sobre las cantidades de polvo que se depositan sobre las hojas de los árboles, en la tabla 2.11 se puede ver la cantidad de polvo en gramos recogida por cinco especies, usadas generalmente para arbolado urbano, en un intervalo de 15 días y por cada 100 gr. de hojas.

<b>Especie vegetal</b>	<b>grs. de polvo</b>
Olmo	2,735
Castaño	2,295
Sófora	0,996
Pterocarya	0,979
Tilo	0,936

Tabla 2.11. Cantidad de polvo retenida por las hojas de distintas especies de árboles (48).

Como regla general el polvo y otras sustancias se mantienen durante más tiempo cuanto más inmóviles y más vellosa sea la superficie de las hojas, características a tener en cuenta para la selección de especies a la hora de proyectar espacios verdes o arbolado vial.

### C) ACCIÓN ANTISÉPTICA.

La capitación de micro organismos por las hojas de las plantas se lleva a cabo por un proceso similar al descrito anteriormente para las partículas de polvo. Ésta se complementa con la producción, por parte de la superficie foliar, de ozono (O<sub>3</sub>), gas de alto poder bactericida, lo que elimina gran parte de los microorganismos contenidos en el aire.

<b>Sitio</b>	<b>Microbios por m3</b>
Grandes almacenes	4.000.000
Grandes Avenidas	575.000
Campos Elíseos	88.000
Campo de Marte	2.200
Parque de Monsouris	1.000
Bosque de Fointanebleau	50

Tabla 2.12. Cantidad de microbios contenida en el aire de París por cada m<sup>3</sup> de aire.

A este respecto poco se ha investigado. La referencia más reciente que se encontró fue la de M. Michel (49), donde indica la cantidad de microbios por m<sup>3</sup> de aire que contiene la atmósfera de París, en distintas zonas de la ciudad, estas cifras nos permiten apreciar el efecto de la vegetación (ver tabla 2.12).

#### D) ABSORCIÓN DE GASES TÓXICOS.

Las plantas pueden absorber cierta cantidad de gases tóxicos disueltos en la atmósfera, esta acción puede o no provocar lesiones a la planta. En cualquiera de estas dos circunstancias es evidente que ha sido eliminada una cierta cantidad de gas del que se encontraba en el aire. Sin embargo desde nuestro punto de vista solo nos interesará la segunda situación, ya que la depuración atmosférica no es deseable cuando se consigue a base de daños permanentes en las plantas.

No existen prácticamente estudios a este respecto. Solo se conocen datos referentes al anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ). Se sabe que algunas especies desarrolladas en atmósferas contaminadas con este gas, lo absorben e incluso lo metabolizan sin sufrir daños y con un desarrollo normal.

Para que una masa de aire conteniendo una concentración de  $\text{SO}_2$  de  $100 \text{ mg/m}^3$  (la media en una zona industrial) pueda ser purificada completamente, debería atravesar una superficie de 1 hectárea de bosque de haya, durante el verano, a una velocidad no mayor a 25 km/hr.

La distribución de los espacios verdes en una ciudad realizada de una forma racional, puede aumentar considerablemente su eficacia. Su utilidad será mayor si se sitúan en la proximidad de las fuentes de contaminación, puesto que las pantallas verdes atenuarán desde su origen la difusión de los gases producidos por éstas.

Por último también conviene considerar, el papel secundario que las plantas pueden ejercer como indicadores del nivel de contaminación del aire que respiran.

Dependiendo de la sensibilidad de algunas especies a ciertas sustancias, sería posible saber cuando los niveles de contaminación de una sustancia en particular, rebasan ciertos límites peligrosos, al deteriorarse dichas plantas.

Como conclusión a todo o expuesto, en relación con el papel que desempeñan los espacios verdes en atmósferas contaminadas, puede decirse que la vegetación y el suelo sufren un evidente daño a causa de la contaminación atmosférica, ejerciendo al mismo tiempo una labor paliativa sobre su grado de impureza, no cuantificable con exactitud, pero indudablemente proporcional a la cantidad de vegetación, y que parece ser más eficaz en zonas de frecuente precipitación.

### 2.4.3 CALIDAD DEL AGUA Y PROTECCIÓN DEL SUELO.

Las superficies impermeables como el hormigón, asfalto, etc., concentran los flujos de agua y permiten que ésta golpee con fuerza las partes de suelo desprotegidas, causando una acelerada erosión de éste.

Las hojas de los árboles y demás coberturas vegetales, interceptan las gotas de lluvia y dosifican su paso hacia el suelo, por otro lado sus raíces lo retienen, minimizando la erosión. Además, al permitir el paso del agua hacia el subsuelo, se evita la sobre carga de la red de drenaje de las ciudades en caso de tormenta, al mismo tiempo que se recargan los mantos acuíferos.

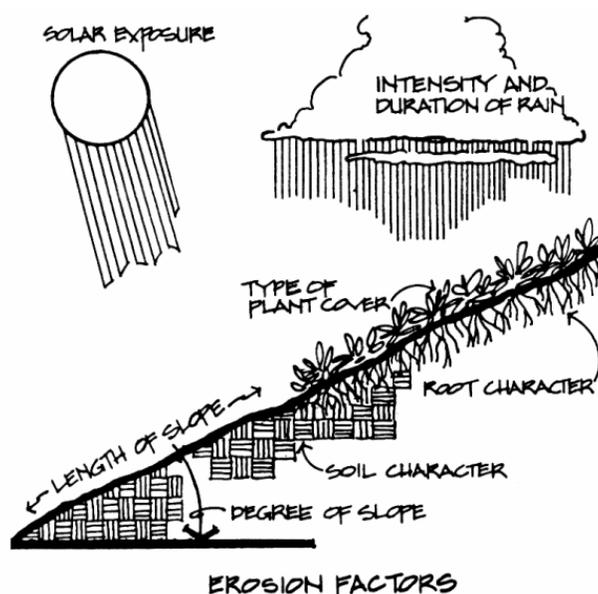


Figura 2.17. Factores que afectan la erosión del suelo (50).

La vegetación puede desempeñar un papel muy importante como purificadora del agua. El agua que sale de las plantas depuradoras, por lo regular necesita de un último tratamiento, para remover las sales minerales y fosfatos, que los procesos, ya sean aerobios o anaerobios, no han podido quitar.

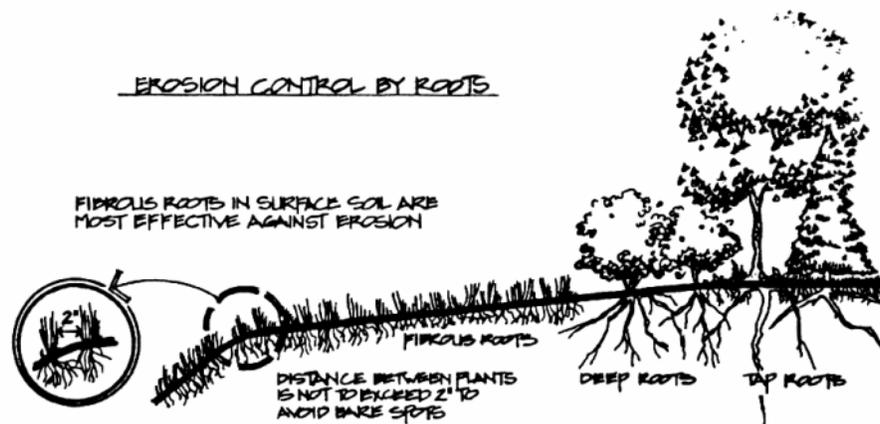


Figura 2.18. Control de la erosión por medio de vegetación (51).

Las raíces de los árboles y demás plantas constituyen un excelente filtro físico, químico y biológico, al utilizar estas sustancias en sus procesos metabólicos como nutrientes, impidiendo que estas sustancias lleguen a los mantos acuíferos o a los cuerpos de agua y los contaminen.

#### 2.4.4 BENEFICIOS PSICOLÓGICOS.

Sería muy largo mencionar todo lo que filósofos, naturalistas y teólogos, nos han dicho durante siglos, acerca de la positiva acción que la vegetación y los espacios verdes, ejercen sobre los estados anímicos del individuo. Se puede decir que la sensación de serenidad y de reposo inducido por la vegetación está presente en la cultura de cada época.

En épocas recientes Roger Ulrich (52) de la Texas A&M University, ha conducido experiencias en este campo, dándole a las funciones psicológicas de la vegetación un carácter científico.

Uno de los experimentos consistía en observar la reacción de personal a la visión de diapositivas con diferentes paisajes rurales y urbanos. Encontró que las escenas rurales despertaban más interés que las urbanas, así como una actitud positiva.

Ulrich también registró las ondas cerebrales alfa de cada sujeto durante la proyección. Las amplitud de las ondas alfa eran mayores cuando los sujetos veían paisajes rurales, que cuando veían los urbanos.

Otros estudios relacionaron la recreación en áreas naturales con el bienestar psicológico. Uno de ellos hacía caminar a personas durante 40 minutos en una zona urbana arbolada, 40 minutos en una zona urbana sin vegetación o descansar 40 minutos leyendo revistas y escuchando música.

Aquellos sujetos que caminaron entre los árboles, registraron sentimientos más positivos que aquellos que realizaron las otras actividades.

En su último estudio, Ulrich proyectó a 120 personas primero una película estresante y luego, seis diferentes videos sobre paisajes urbanos y naturales. Mientras los sujetos veían los videos, se tomaron lecturas de la presión sanguínea, tensión muscular, conductancia de la piel y pulsaciones cardiacas.

Tanto los registros psíquicos como físicos mostraron que los sujetos se recuperaban más rápidamente y mejor cuando observaban los paisajes naturales.

Aceptada esta capacidad de la naturaleza como estabilizadora del plano psíquico, cabe preguntarse cual de sus características puede ser reconocida como tonificante urbano presente en los espacios verdes.

Considerando este aspecto con detalle, de los elementos que caracterizan un paisaje, hemos de destacar como fundamentales la vegetación, el color y la luminosidad. Siendo el color y la vegetación los más importantes.

### **2.4.5 CONSERVACIÓN DE LA VIDA ANIMAL.**

La vegetación es necesaria para la supervivencia de muchos animales dentro de la ciudad. Una oportuna selección de las especies que constituirán los espacios verdes, podrían garantizar fuentes de alimento, vivienda y descanso a muchos animales.

Por ejemplo la presencia de diversos invertebrados atraídos por las flores, constituyen un eslabón importante de la cadena alimenticia, pasando por numerosas aves insectívoras, hasta los depredadores más grandes. Está demostrado que cuanto más complejo y diversificado sea el conjunto vegetal, más amplia será la cantidad de especies que habiten un espacio verde.

Generalmente la selección de especies nativas, más que las exóticas, contribuyen a determinar un hábitat más idóneo para las especies animales endémicas de la zona.

En la tabla siguiente se ve la relación entre cantidad de especies de aves presentes y tipos de vegetación.

Hábitat	No. de especies
Bosque de eucaliptos	6
Arbustos bajos	9
Arbustos altos	15
Cítricos	6
Bosque de coníferas	13

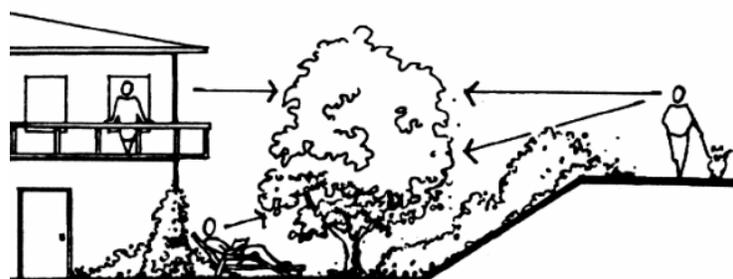
Tabla 2.13. Riqueza de especies de aves detectadas en diversos hábitats del "Parco della Favonaria" en Palermo, Italia, Lo Valvo 1986 (53).

#### 2.4.6 CONTROL VISUAL.

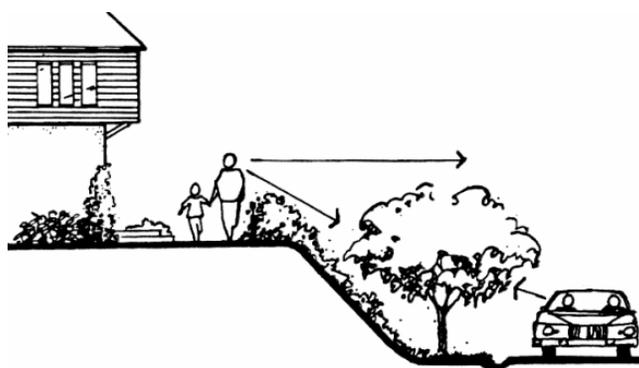
La vegetación puede ser muy efectiva como barrera o pantalla, proporcionando privacidad y eliminando vistas no deseadas como basureros, terrenos deshabitados o carreteras. Éstas pueden dirigir la vista de un observador hacia una dirección en particular, o bien, enmarcar un paisaje determinado.

Las plantas también pueden ayudar a definir espacios, creando lo que podríamos llamar "habitaciones exteriores", utilizando césped como suelo, setos como muros y como techo una pérgola o el follaje de árboles más grandes. Cabe recordar que no siempre es posible crear inmediatamente este tipo de espacios, ya que en ocasiones puede tomar años que los árboles crezcan hasta formar el techo.

También es posible reducir el discomfort visual, producido por deslumbramientos. Estos pueden venir de la luz del sol, luces de coches, alumbrado urbano y algunas señales. Así mismo pueden ser reflejos provenientes de superficies de agua, como lagos o piscinas, fachadas de cristal, arena, nieve, etc.



PRIVACY VERTICALLY UPWARD  
TO ELEVATED ROAD OR WALK



PRIVACY VERTICALLY DOWNWARD  
VIEW NOT OBSTRUCTED

Figura 2.19. Ubicada convenientemente, la vegetación proporciona privacidad por medio del control de las vistas, aquí se presentan diversos casos (50).

Para fuentes de deslumbramiento fijas, lo mejor es colocar la vegetación tan cerca como sea posible. Cuando se trata de luz reflejada lo más importante es interceptada antes de que alcance su destino. En algunas ocasiones puede ser conveniente filtrar la luz más que bloquearla por completo, para obtener efectos visuales evitando la monotonía al paisaje.

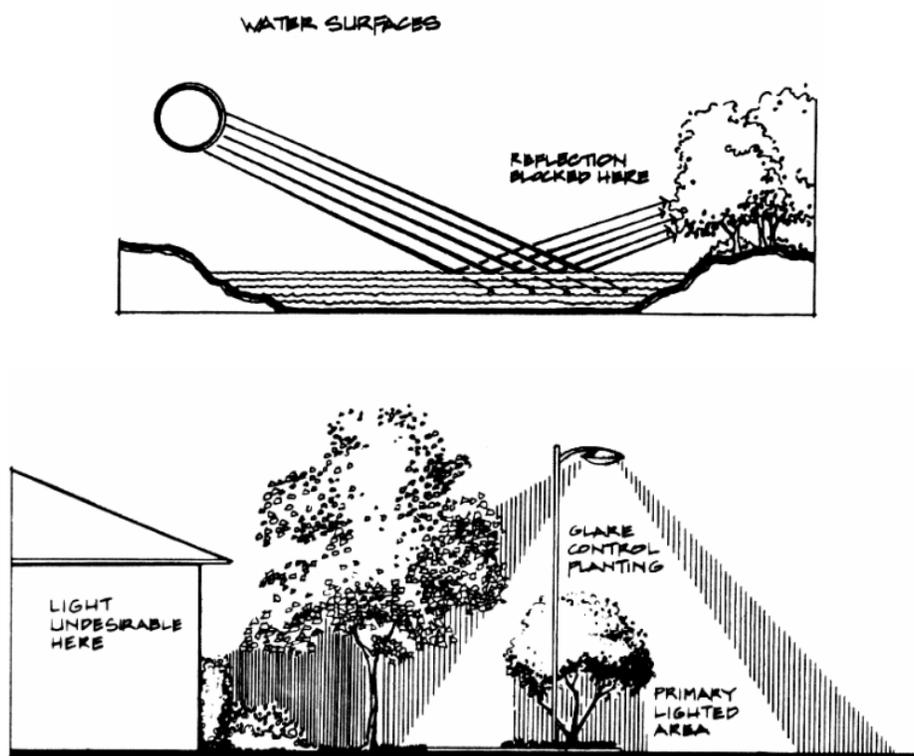


Figura 2.20. Distintas situaciones para el control del deslumbramiento (50).

*COMENTARIO: Como hemos visto, los efectos no climáticos que puede tener la vegetación, dentro del ámbito urbano, son, en ocasiones muy sutiles, casi imperceptibles, pero igualmente importantes.*

*Para que estos efectos sean apreciables, sería necesario aumentar la presencia y mejorar la distribución de la vegetación en las ciudades, además de una adecuada selección de las especies que se implanten.*

## 2.5 RESUMEN DEL CAPÍTULO.

La vegetación tiene diversos efectos en el microclima urbano, éstos se pueden clasificar en directos e indirectos. Los directos son los que afectan a un edificio o zona en particular, como las variaciones en la incidencia de la radiación solar y la velocidad y dirección del viento. Los indirectos afectan a una zona más amplia, un barrio o un conjunto de manzanas, variando la temperatura y humedad del aire.

La sombra producida por árboles y otras plantas es uno de los efectos relacionados con la radiación solar, más evidentes, sin embargo existen otros que, aunque no se aprecian fácilmente, son igualmente importantes, como la absorción, emisión y transmisión de radiación infrarroja que no podemos ver.

La velocidad y dirección del viento en ambientes urbanos, puede estar influida por la vegetación pero tanto o más lo harán la tipología de la trama urbana y la densidad de vegetación en relación a la densidad de construcción en una zona dada.

En el caso del viento y la radiación, un solo árbol puede tener efectos significativos sobre una vivienda aislada, sin embargo, éste sería insignificante en una zona más amplia, donde se requerirían muchos más árboles para obtener algún efecto.

Con las variaciones en la temperatura y humedad pasa algo similar, sin embargo, el efecto de la evapotranspiración de un solo árbol, o incluso un grupo de estos, es disipado por la menor corriente de aire, salvo que se trate de lugares confinados o grandes masas arboladas.

En zonas urbanas densamente pobladas, los efectos se sentirán globalmente sólo si la densidad de construcción y la de vegetación, están suficientemente equilibradas.

La vegetación, al afectar el microclima que rodea a los edificios, influirá también en su consumo energético para acondicionamiento ambiental. Las investigaciones hechas a este respecto, coinciden en que, así como hay reducciones en el consumo, también puede haber aumentos, que dependerán del clima de la zona, la especie de los árboles y la cantidad de éstos en relación a la superficie. Sin embargo, si consideramos los efectos

combinados de especies caducifolias y perennifolias, aumentando la densidad de árboles plantados, siempre obtendremos beneficios.

La vegetación también tiene efectos no climáticos, que pueden contribuir al la sensación de bienestar en los espacios exteriores, controlando el ruido urbano, produciendo oxígeno, reteniendo polvo y materias sólidas suspendidas en el aire, indicando la presencia de contaminantes, purificando el agua, evitando la erosión del suelo y proporcionando un hábitat para una diversidad de animales, por ejemplo aves, pequeños mamíferos e insectos.

Otro aspecto son los beneficios psicológicos que produce el pasar los ratos de ocio y descanso en zonas ajardinadas.

Todos estos efectos no climáticos pueden darse de manera individual o bien paralelamente a su función como instrumento de control microclimático.

Pero no todos los efectos de la vegetación en el ambiente urbano son buenos, los problemas más típicos son los daños en aceras, edificios, mobiliario urbano e instalaciones subterráneas producidos por raíces y ramas, el consumo excesivo de agua en caso de riego, la producción excesiva de biomasa en otoño o el incremento de alergias durante la época de floración en la población sensible.

La mayoría de estos problemas se puede disminuir con una adecuada selección de especies, preferentemente nativas, como parte de un buen plan de gestión de los espacios verdes.

## 2.6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

1. Bansal, N., K., Hauser, G., Minke, G. “**Passive Building Design, a Handbook of Natural Climatic Control**”. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 1994.
2. Oke, T., R. “**Boundary layer climates**”. 2ª ed. Routledge, London, 1990.
3. Cantón, M., A., Cortegoso, J., L., de Rosa, C. “**Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina**”. Energy and Buildings, no. 20, 1994.
4. Brown, R., Gillespie, T. “**Microclimatic landscape Design : Creating thermal confort and energy efficiency**”. John Wiley and Sons, New York, 1995.
5. Oke, op. cit. 1990.
6. Mascaró, L. R. “**Ambiência urbana = Urban enviroment**”. Sagra-D. C. Luzzatto, Porto Alegre, 1996.
7. Citado en Mascaró, 1996.
8. Mascaró op. cit.
9. Heisler, G. M. “**Site design and microclimate research**” (final report to Argonne National Laboratory). University Park, PA: U.S. Dept. of Agriculture Forest Service, Northeast Forest Experiment Station, 1989.
10. Citado en Robinette op. cit. 1983.
11. Robinette op. cit. 1983.
12. García, J., R., Fuentes, V. “**Viento y Arquitectura**”. Ed. Trillas, México, 1995.
13. Robinette op. cit
14. Olgyay, V., Olgyay, A. “**Design with climate**”. Van Nostrand Reinhold, 1992.
15. Citado en Olgyay 1992.
16. Oke, op. cit.
17. Hoerbert, M., Kirchgorg, A. “**Climatic and air hygienic aspects in the planning of iner-city open spaces: Berliner grosser tiergarten**” Energy and Buildings, Vol. 5 no. 1, 1982.
18. Robinette, G., O. “**Landscape Planning for Energy Conservation**”. Van Nostrand Reinhold Co. New York, 1983.
19. Geiger, R. “**The Climate Near The Ground**” Harvard University Press, Cambridge 1965.

20. Oke, 1990 op. cit.
21. Robinette, 1983 op. cit.
22. Alessandro et al., 1987, op. cit.
23. Lowry, “**Atmospheric Ecology for Designers and Planners**”. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
24. Akbari, J. Huang, S. Davis, “**Cooling Our Communities : A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing**”. Government Printing Office, Superintendent of Documents, Pittsburg, 1992.
25. Brown, & Gillespie, op. cit., 1995.
26. Arnfield, “**Street Design and urban canopy layer**” en Energy and Buildings no. 14, 1992 Elsevier Science, p.p. 117-113.
27. Oke, T. R., “**Street design and urban Canopy Layer Climate**” en Energy and Buildings No. 11, 1988, Elsevier Science, p.p. 103-113
28. Burt, P. A., O'Rourke, W. H., Terjung, “**The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperatures. in II Man in an urban environment**” en Int. J. Biometeorology no. 26 (1982) p.p. 25-35.
29. Swaid, M. Bar-el, M. E. Hoffman, “**A Bioclimatic Design Methodology for outdoor spaces**” en Theoretical and Applied Climatology no. 48 (1993) Springer-Verlag, p.p. 49-61.
30. Guerra M., J.J., Álvarez D., S., Molina F., J. L., Velázquez V, R., “**Guía básica para el acondicionamiento climático de espacios abiertos**”, Departamento de Ingeniería Energética y mecánica de Fluidos, Universidad de Sevilla, Editorial CIEMAT, Madrid, 1994.
31. Citado en Robinette 1983.
32. Parker, J., H., “**The effectiveness of vegetation on residential cooling**”, Florida International University, Energy and Buildings, Vol. 2, No. 2, 1983. pp. 123-132.
33. Barroso-Krause, C., Centre d'Energétique, Ecole de Mines de Paris, France, “**Vegetal shelter: is a good thermal option as a passive cooling strategy?**”. 3rd. European Conference on Architecture, 17-21 May, Florence, Italy, 1993.
34. McPherson, E., G., Herrington, L., P., Heisler, G., M. “**Impacts of vegetation on residential heating and cooling**”. Energy and Buildings, 12 (1988), pp. 41-51.
35. Huang, Y. J., Akbari, H., Taha, H. “**The wind shielding and shading effects of trees on residential heating and cooling requirements**” Report LBL-24131, Lawrence Berkeley Lab. California, 1990.

36. Akbari, h., Rosenfeld, A. H., Taha, H. G. "**Summer Heat Islands, Urban Trees and White Surfaces**". LBL Report 28308, Berkeley, Ca., 1990: Lawrence Berkeley Laboratory.
37. Alessandro, S., Barbera, G., Silvestrini, G. "**Stato dell'arte delle ricerche concernenti l'interazione energetica tra vegetazione de ambiente costruito**". CNR, IEREN 13, Palermo, 1987.
38. Stryjenski, J. "**L'acoustique appliquée à l'urbanisme**". Les editions techniques, Genève.
39. Givoni, B. "**Urban design in different climates**". Reporte WMO/TD-No. 346, World Meteorological Organization, 1989, Geneve.
40. Cook, D., Haerbeke, D. "**Trees and shrubs for noise abatement**". Research Bulletin, University of Nebraska, College of Agriculture, 1971.
41. Alessandro et al., 1987
42. Citado en Alessandro et al., 1987.
43. Akbari, H. et al. "**Cooling Our Communities, a guidebook on tree planting and light-colored surfacing**". Superintendent of Documents, Pittsburg, 1992.
44. Givoni, op. cit.
45. Isalgué, A., Coch, H., Serra, F. "**Effects of urban landscape on noise distribution**". Proceedings of the 2nd European Conference: REBUILD, The European Cities of Tomorrow, Florencia, abril de 1998.
46. Rodríguez-Avial LLardent, L. "**Zonas verdes y espacios libres en la ciudad**". Instituto de Estudios de la Administración Local, Madrid, 1982.
47. Bertnatzky, A. "**The contribution of trees and green spaces to a town climate**". Energy and Buildings, no. 5, 1982.
48. Rodríguez-Avial, op. cit. 1982.
49. Michel, M., F. "**Fôrets, microbes et pollution. Le probleme épidémologiques**". La forêt et la ville, INRA, De SEI, Versailles, 1979.
50. Walker, T., D. "**Residential Landscaping I**". 2a.ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
51. Walker, op. cit.
52. Ulrich, R., S. "**Human responses to vegetation and landscapes**". Landscape and Urban Planning, no. 13, pp. 24-26, 1986.
53. Citado en Alessandro et al. 1987.