



**LA VEGETACIÓN COMO INSTRUMENTO
PARA EL CONTROL MICROCLIMÁTICO**

José Manuel Ochoa de la Torre
Tesis Doctoral

Octubre de 1999

LA VEGETACIÓN COMO INSTRUMENTO PARA EL CONTROL MICROCLIMÁTICO

Tesis presentada por :

JOSÉ MANUEL OCHOA DE LA TORRE

Para obtener el grado de :

DOCTOR EN ARQUITECTURA

Director :

Dr. RAFAEL SERRA FLORENSA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona

Departament de Construccions Arquitectòniques I

Programa de Doctorado Àmbits de Recerca de la Construcció i l'Energia a l'Arquitectura

Barcelona, Octubre de 1999.

AGRADECIMIENTOS

En el desarrollo de una Tesis Doctoral intervienen múltiples personas además del doctorando, aconsejándolo y asesorándolo en cosas que van desde cómo insertar imágenes en "Word", hasta el dibujo en "CAD", elaboración de modelos matemáticos, elaboración de programas o correcciones en la redacción del texto.

De todas estas personas que han colaborado conmigo, quisiera agradecer en primer lugar a mi Director de Tesis Rafael Serra, por sus valiosos consejos, motivación y apoyo en todo momento.

Asimismo agradezco la colaboración de : Gianni Scudo, Jaume Roset, Toni Isalgué, Helena Coch, Ferran Cintora, Alberto Callizo, Pancho Muñoz, Manel Fernández y una lista interminable de amigos y profesores.

A mi familia, que desde México, estuvieron siempre pendientes de todo.

Y particularmente a Irene, por su infinita paciencia y amor, además de haber compartido conmigo todos estos momentos, a veces fáciles y a veces difíciles.

También expreso mi agradecimiento a las siguientes personas e Instituciones:

Grup de Recerca Arquitectura i Energía del Departament de Construccions Arquitectòniques I de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona de l'Universitat Politècnica de Catalunya.

D. Antoni Falcón Director-Gerent de l'Institut Municipal de Parcs i Jardins de l'Ajuntament de Barcelona.

D. Pedro J. Salvador Palomo, Jefe de la Oficina Técnica del Plan Verde del Ajuntament de Valencia.

Por último quisiera mencionar que el presente trabajo, no hubiera sido posible sin la Beca Crédito que me otorgó el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT).

J. Manuel Ochoa de la Torre.

Barcelona, octubre de 1999.

ÍNDICE

0

INTRODUCCIÓN GENERAL

| | |
|------------------------|-----|
| Introducción | 0.2 |
| Justificación del Tema | 0.3 |
| Hipótesis Inicial | 0.4 |
| Objetivos | 0.4 |

1

LA RELACIÓN VEGETACIÓN, ARQUITECTURA Y CLIMA EN LA HISTORIA

| | |
|--|------|
| 1.1 Introducción | 1.1 |
| 1.2 Breve Historia de la Vegetación en la Ciudad | 1.4 |
| 1.2.1 La Edad Antigua | 1.4 |
| 1.2.2 La Edad Media | 1.8 |
| 1.2.3 El Renacimiento | 1.10 |
| 1.2.4 El Cambio Radical del Siglo XVII | 1.11 |
| 1.2.5 El Siglo XIX | 1.12 |
| 1.2.6 La Época Actual | 1.12 |
| 1.3 Incorporación del Árbol en el Espacio Urbano | 1.14 |
| 1.4 Apuntes Históricos de Plazas y Calles | 1.16 |
| 1.5 Evolución del Concepto de Parque Urbano | 1.21 |
| 1.6 Bibliografía y Referencias | 1.24 |

2

IMPACTO DE LA VEGETACIÓN EN EL MICROCLIMA URBANO

| | |
|--|------|
| 2.1 Introducción | 2.2 |
| 2.2 Acciones Climáticas | 2.3 |
| 2.2.1 Variación en la Incidencia de Radiación Solar | 2.3 |
| 2.2.2 Variación en la Velocidad y Dirección del Viento | 2.7 |
| 2.2.3 Variación en la Temperatura y Humedad del Aire | 2.8 |
| 2.3 Evaluación de las Acciones Climáticas de la Vegetación | 2.15 |
| 2.3.1 Evaluación del Impacto Climático en Espacios Exteriores | 2.15 |
| 2.3.2 Repercusiones en el Acondicionamiento Ambiental de Espacios Interiores | 2.18 |
| 2.4 Impactos no Climáticos de la Vegetación | 2.25 |
| 2.4.1 Vegetación y Ruido Urbano | 2.25 |
| 2.4.2 Variaciones en la Composición Atmosférica | 2.29 |
| 2.4.3 Calidad del Agua y Protección del Suelo | 2.33 |
| 2.4.4 Beneficios Psicológicos | 2.34 |
| 2.4.5 Conservación de la Vida Animal | 2.35 |
| 2.4.6 Control Visual | 2.36 |
| 2.5 Resumen del Capítulo | 2.39 |
| 2.6 Bibliografía Y Referencias | 2.41 |

3

DEFINICIÓN ESPACIAL DEL ENTORNO FÍSICO

| | |
|---|------|
| 3.1 Introducción | 3.2 |
| 3.2 El Espacio Climático | 3.3 |
| 3.3 El Espacio Urbano | 3.7 |
| 3.3.1 La Plaza | 3.11 |
| 3.3.2 La Calle | 3.13 |
| 3.3.3 La Trama Urbana | 3.16 |
| 3.4 Las Escalas Climáticas y el Espacio Urbano | 3.18 |
| 3.5 Resumen del Capítulo | 3.21 |
| 3.6 Bibliografía | 3.22 |

4

EVALUACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LOS EFECTOS DE LA VEGETACIÓN EN ESPACIOS EXTERIORES URBANOS

| | |
|--|------|
| 4.1 Introducción | 4.2 |
| 4.2 Bases Generales | 4.3 |
| 4.3 Método de Análisis | 4.6 |
| 4.3.1 Ubicación | 4.8 |
| 4.3.2 Forma | 4.19 |
| 4.3.3 Límites | 4.26 |
| 4.3.4 Elementos Vegetales del Sistema | 4.31 |
| 4.4 Análisis de Casos Reales | 4.45 |
| 4.4.1 Sistema Plaza-Vegetación | 4.46 |
| Caso 1: Plaza de Mossen Clapés | 4.46 |
| Caso 2: Plaza ETSECCPB-UPC Campus Nord | 4.52 |
| Caso 3: Parque Espanya Industrial | 4.57 |
| 4.4.2 Sistema Calle-Vegetación | 4.64 |
| Caso 4: Rambla Catalunya | 4.64 |
| Caso 5: Carretera de Sants | 4.69 |
| Caso 6: Calle Moianès | 4.75 |
| 4.4.3 Discusión del Análisis | 4.80 |
| 4.5 Resumen del Capítulo | 4.82 |
| 4.6 Bibliografía | 4.84 |
| 4.7 Referencias | 4.85 |

5

EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS EFECTOS MICROCLIMÁTICOS DE LA VEGETACIÓN

| | |
|---|------|
| 5.1 Introducción | 5.2 |
| 5.2 Balance Energético del Espacio Microclimático | 5.3 |
| 5.3 Pautas de Diseño Microclimático | 5.6 |
| 5.3.1 Control de la Radiación | 5.6 |
| 5.3.2 Control del Viento | 5.13 |
| 5.3.3 Control de la Temperatura y la Humedad | 5.22 |
| 5.4 Confort Climático en Espacios Exteriores | 5.26 |
| 5.4.1 Estimación del Confort en Espacios Exteriores | 5.26 |
| 5.5 Estimación de la Radiación Recibida por una Persona en Espacios Exteriores | 5.31 |
| 5.6 Estimación del Viento en Espacios Exteriores | 5.36 |
| 5.7 Resumen del Capítulo | 5.38 |
| 5.8 Bibliografía y Referencias | 5.46 |

6

MÉTODO DE DISEÑO MICROCLIMÁTICO PARA ESPACIOS EXTERIORES URBANOS.

| | |
|---|------|
| 6.1 Introducción | 6.2 |
| 6.2 Método de Diseño Propuesto | 6.2 |
| 6.2.1 Análisis Arquitectónico | 6.3 |
| 6.2.2 Estrategia de Diseño Microclimático | 6.3 |
| 6.2.3 Análisis Paramétrico | 6.9 |
| 6.3 Aplicación del Método a un Caso Real | 6.11 |
| 6.4 Bibliografía y Referencias | 6.21 |

7

CONCLUSIONES GENERALES.

| | |
|----------------------------|-----|
| Conclusiones | 7.2 |
| Nuevas Perspectivas | 7.5 |

8

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

| | |
|--|-----|
| | 8.1 |
|--|-----|

ANEXO A

CLASIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN CON FINES DE CONTROL MICROCLIMÁTICO

| | |
|-----------------------------------|------|
| A.1 Introducción | A.2 |
| A.2 Características Estructurales | A.2 |
| A.3 Características Fisiológicas | A.6 |
| A.4 Resumen del Anexo | A.8 |
| A.5 Bibliografía y Referencias | A.10 |

ANEXO B

INSTRUMENTACIÓN Y MÉTODOS EN EL ANÁLISIS DE CASOS REALES

| | |
|---|-----|
| B.1 Criterios Generales | B.2 |
| B.2 Captura de Información | B.3 |
| B.3 Medición de la Temperatura Ambiente y la Humedad Relativa | B.4 |
| B.4 Medición de la Iluminancia y el Factor de Sombra | B.6 |
| B.5 Medición de la Velocidad del Viento | B.6 |
| B.6 Medición de la Temperatura Radiante | B.9 |

ANEXO C

LISTADO DE PROGRAMAS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS PARAMÉTRICO

| | |
|--------------------------------|-----|
| C.1 Introducción | C.1 |
| C.2 Programa <i>CONFEX.BAS</i> | C.2 |
| C.3 Programa <i>RADIA.BAS</i> | C.3 |

0

INTRODUCCIÓN GENERAL

INTRODUCCIÓN

El reto de controlar y modificar el medio ambiente y crear así condiciones propicias para el bienestar y el desarrollo humano, es tan antiguo como el hombre mismo. En un principio la arquitectura surge como una respuesta del ser humano al medio físico, al comprender éste su limitada capacidad para adaptarse biológicamente a las condiciones del clima.

Paulatinamente a través de una arquitectura incipiente, el hombre fue encontrando la manera de satisfacer sus necesidades cotidianas de bienestar, tanto a nivel individual como de su comunidad, utilizando los recursos materiales que encontraba a su alrededor: piedras, arcilla, partes de los animales que cazaba y la vegetación, ya sea en forma de material constructivo (ramas, troncos, fibras, etc.) o bien utilizando los árboles y arbustos como cobijo.

Desde el principio la vegetación ha sido un elemento importante en la arquitectura, no sólo para satisfacer una necesidad instintiva de protección o como decoración, sino como elemento esencial para determinar el ambiente físico inmediato, ya sea como vallado, pantalla visual, acústica, contra el viento, la lluvia, el sol, etc.

Tanto en la arquitectura vernácula como en la arquitectura de estilo, podemos encontrar ejemplos de cómo el hombre ha tenido que diseñar su hábitat creando un microclima en su entorno, empleando la vegetación para manipular los elementos climáticos.

En la actualidad, la vegetación, la topografía del terreno y los cuerpos de agua, están siendo usados básicamente, con propósitos estéticos, utilitarios y recreativos, en la mayoría de los casos, el impacto que tendrán estos elementos, en el microclima, el confort humano y los aspectos energéticos, se toman en cuenta más de una manera intuitiva, que analizando el problema a fondo.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

Las viejas artes de crear lugares al aire libre que se beneficien de los elementos climáticos y de los recursos materiales del paisaje, parecen haberse perdido. en las últimas décadas del siglo veinte.

Esta situación está cambiando pero no en grado suficiente de permitir al arquitecto, al urbanista o inclusive al propietario de una casa, ajustar o modificar el microclima de un espacio exterior, con una fiabilidad suficiente y mucho menos poder evaluarlo de alguna manera.

No es que no se conozcan el comportamiento y los efectos de la vegetación y otros elementos paisajísticos sobre el microclima, existe una gran cantidad de información al respecto, pero está dispersa en investigaciones y escritos de campos tan diversos como la meteorología, la agronomía, la botánica o la geografía, y por lo tanto en una diversidad de lenguajes que no son comunes al urbanista o al arquitecto.

Al ser ésta una relación tangencial con la arquitectura, serán necesarias diferentes interpolaciones e interpretaciones de esta información, para poder usarla ; como consecuencia habrá imprecisiones y errores al momento de su aplicación, lo que conducirá a un precario control del microclima y como consecuencia de las condiciones de confort y del uso de la energía en los edificios.

En este proceso de interpretación, es donde se requiere un estudio más minucioso, que tenga como objetivo el desarrollo una metodología clara para el uso de la vegetación en el control microclimático, que pueda ser utilizado por arquitectos y urbanistas desde las primeras etapas del proyecto.

La tarea aquí no es proporcionar una guía más para diseñar con vegetación, en el sentido convencional de los discutibles principios de la forma, espacio, color, textura, etc. Esto ya ha sido hecho y continúa haciéndose, con bastante éxito. La intención es considerar a la vegetación desde otra perspectiva, con el fin de encontrar una base válida que tenga sus raíces en la ecología urbana ; para explorar aquellas funciones y oportunidades en la vegetación urbana que sean consecuentes con los ideales de una filosofía ecológicamente sostenible, y para examinar los espacios urbanos en relación a su microclima y a su habitabilidad humana.

HIPÓTESIS INICIAL.

La hipótesis de la que parte este trabajo, es que la vegetación tiene propiedades físicas y fisiológicas, que la hacen susceptible de ser evaluada como un sistema de climatización natural, de tal manera que si se combinan los diversos elementos vegetales, será posible modificar el ambiente exterior a escala microclimática.

No hay que olvidar que lo que hace interesante a la vegetación en este caso, es que puede actuar como sistema de climatización pasivo y activo a la vez, ya que como todo ser vivo, es sensible a las secuencias climáticas, y al paso del tiempo.

OBJETIVOS.

El propósito de este trabajo es analizar el uso de la vegetación como elemento para la modificación del microclima, interpretando y poniendo los resultados de este análisis en un lenguaje arquitectónico, de tal manera que el diseñador tenga las herramientas para poder evaluar cualitativa y cuantitativamente el desempeño de la vegetación como sistema de climatización, tomando en cuenta sus características de ser vivo que la hacen más interesante.

Como objetivos particulares están los siguientes:

1. Identificar, comprender y evaluar los fenómenos de transferencia de calor y masa, que tienen lugar en la relación vegetación - microclima y establecer sus efectos sobre el confort del ser humano en espacios exteriores.
2. Identificar sistemas y elementos vegetales que permitan controlar el entorno climático teniendo a la vegetación como su principal materia prima.
3. Definición de pautas de diseño para el uso de la vegetación en el control microclimático, tanto en el ámbito urbano como arquitectónico,
4. Desarrollar herramientas, que permitan al arquitecto, evaluar y dimensionar los distintos elementos vegetales de acondicionamiento ambiental
5. Desarrollar un método de diseño, que permita la interacción de la arquitectura con otras disciplinas y facilite la toma de decisiones desde las primeras etapas de diseño.