

Desde los orígenes de la humanidad, la arquitectura ha cumplido como primera función la protección contra los elementos atmosféricos. Los edificios son barreras contra la lluvia, el viento, refugios contra el frío o filtros contra el calor o la luz. Este libro pretende estudiar la variedad y complejidad de situaciones climáticas en todo el planeta. Ante cualquier condición climática, lo que la arquitectura pretende

# arquitectura y climas

arquitectura y climas

arquitectura y climas Rafael Serra

Rafael Serra

siempre es conseguir cierto grado de confortabilidad. La consecución de cierto nivel de bienestar resulta, en la práctica, un fenómeno complejo en la que intervienen numerosos parámetros no siempre cuantificables. Desde una consideración genérica, el análisis del bienestar se hace complejo. Este libro es una aproximación al tema y nos introduce en un valioso análisis multidisciplinar de todas estas cuestiones.

**Editorial Gustavo Gili, SA**  
08029 Barcelona. Rosselló, 87-89  
Tel. 93 322 8161 - Fax 93 322 9205  
e-mail: info@ggili.com  
<http://www.ggili.com>

ISBN 84-252-1767-9



9 788425 217678

**GG Básicos**

7.10  
6.70

La colección **GG Básicos** pretende ofrecer un replanteamiento y puesta al día de conocimientos fundamentales sobre el futuro de la arquitectura, siempre desde un marco interdisciplinar e intercultural que responda a las exigencias de la situación actual del mundo. En la colección colaboran los mejores especialistas de cada tema para explicar de una forma sencilla, pero sólida, las reflexiones e ideas esenciales de cada tema y aquellas cuestiones básicas que deberían ser conocidas por todos. Por su formato y por lo asequible de su precio, **GG Básicos** se convierte en una pequeña biblioteca de temas fundamentales de la arquitectura actual, un primer acercamiento a la materia dirigido tanto a estudiantes de Arquitectura como de otras disciplinas afines y a cualquier persona interesada en los temas que plantea.

arquitectura y climas

**arquitectura y climas**  
Rafael Serra

**08029 Barcelona** Rosselló, 87-89. Tel. 93 322 81 61  
**México, Naucalpan 53050** Valle de Bravo, 21. Tel. 55 60 60 11  
**Portugal, 2700-606 Amadora**  
Praceta Notícias da Amadora, nº 4-B. Tel. 21 491 09 36

**GG Básicos**

**Director de la colección**

Josep Muntañola Thornberg

**Dibujos**

Enric Boira

**Diseño de la cubierta**

Toni Cabré/Editorial Gustavo Gili, SA

1ª edición, 1ª tirada, 1999

2ª tirada, 2000

3ª tirada, 2002

4ª tirada, 2004

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, la reproducción (electrónica, química, mecánica, óptica, de grabación o de fotocopia), distribución, comunicación pública y transformación de cualquier parte de esta publicación —incluido el diseño de la cubierta— sin la previa autorización escrita de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y siguientes del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (CEDRO) vela por el respeto de los citados derechos.

La Editorial no se pronuncia, ni expresa ni implícitamente, respecto a la exactitud de la información contenida en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

© Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, 1999

*Printed in Spain*

ISBN: 84-252-1767-9

Depósito legal B. 40.411-2004

Impresión: Hurope, sl, Barcelona

**Índice**

Alrededor de la arquitectura .....	7
El difícil bienestar .....	13
El clima del aire y de la humedad .....	20
El clima de la luz y del sol .....	29
El clima de las paredes .....	37
El clima del viento y de la brisa .....	45
El clima del silencio .....	57
Controlando los climas .....	73
Otras culturas, otros climas .....	89

## Alrededor de la arquitectura

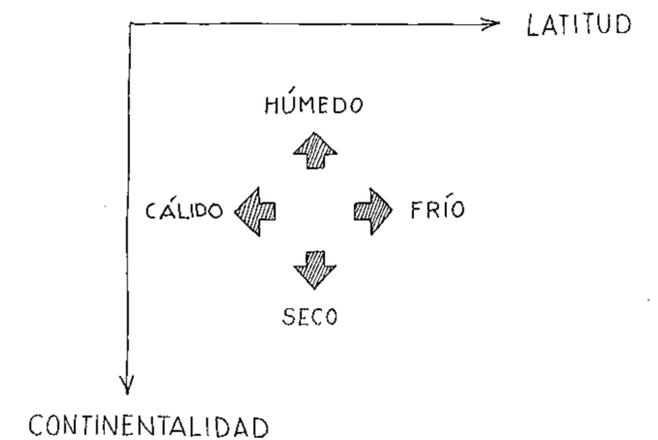
Los edificios son barreras a la lluvia, al viento y, a veces, filtros sutiles a la luz y al calor. Rodeados de entornos variables, donde cambian el día y la noche, el calor y el frío, el viento y la calma, la lluvia y el sol; se convierten en refugios de artificiales condiciones, como islas de tranquilidad en un mundo incómodo.

Porque si la arquitectura es clima, también es verdad que son muchos los climas que en ella intervienen: climas de invierno y de verano, climas de luz y de calor, climas de transición entre interior y exterior, climas en la arquitectura popular o en la arquitectura representativa, climas naturales o climas artificiales y, por último, incluso, están los climas que no son climas, climas sonoros, psicológicos, mágicos, con los que se genera la infinita variedad de los espacios arquitectónicos.

Estudiar los climas de la arquitectura puede resultar difícil debido a la complejidad de dichos climas. Si hacemos, simplificando, una primera aproximación al problema, tomando sólo en el más estricto sentido térmico la palabra "clima", resulta que dicho clima depende de cuatro parámetros, de la temperatura del aire, de la radiación, de la humedad y del movimiento del aire; difícil sencillez que resume tantas variedades en sólo cuatro valores.

Pero en realidad entenderemos el clima o los climas de la arquitectura en un sentido más amplio, incluyendo todos aquellos fenómenos ambientales que actúan sobre los ocupantes de un edificio, influyendo sobre su bienestar y sobre su percepción a la vez, se trate de sensaciones térmicas, táctiles, visuales, auditivas, etc.

Hablando en el sentido más convencional del término, los climas sobre la superficie de nuestro planeta también son muy variados, cálidos o fríos, secos o húmedos. Cambian según la época del año, con la variación de la altura del sol o según el régimen de vientos. De toda esta variedad de climas, cuando analizamos la arquitectura, simplificamos casos-tipo representativos de las constricciones del entorno.



En las regiones **cálido-secas**, las temperaturas son muy altas durante el día, pero bajan acusadamente en

las horas nocturnas. Existe un intenso asoleo y las escasas precipitaciones y nebulosidad, hacen que predomine la radiación solar directa y que sea muy importante la distinción entre el sol y la sombra. Pueden presentarse molestos vientos cargados de polvo, al corresponderse este clima normalmente con zonas áridas con muy poca vegetación.

Es el clima propio de zonas continentales cercanas al ecuador y la arquitectura popular característica de estas zonas siempre ha tendido a ser compacta, con escasas aberturas, muchas veces con gruesas paredes o subterránea, para obtener la máxima inercia térmica frente a las variaciones del clima exterior y, por último, con el magnífico recurso del patio para generar un espacio protegido del sol, humedecido y refrescado con la presencia de agua, que permite reconciliar la arquitectura con el exterior.



En las zonas **cálido-húmedas**, las temperaturas, aunque altas, son más moderadas y más constantes que en las desérticas. Las nubes y la lluvia son frecuentes, sobre todo durante una parte del año, con lo que la radiación, siempre intensa, es mucho más difusa que en el caso anterior y la humedad es constantemente alta.

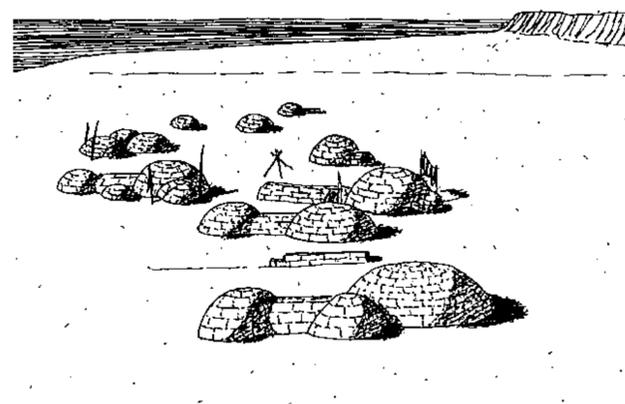
La arquitectura popular característica de estos climas, propios de las zonas subtropicales marítimas, es una arquitectura ligera, muy ventilada, protegida en todas direcciones de la radiación y sin inercia térmica de ningún tipo. Los edificios son estrechos, alargados y se separan entre sí y del suelo para mejor exponerse a las brisas. Las paredes desaparecen prácticamente, hasta el punto de despreñar la privacidad para mejorar la ventilación. Las cubiertas se elevan y se proyectan con grandes aleros, para proteger de la radiación solar los cerramientos verticales de los edificios.



En las **regiones frías**, las temperaturas son bajas todo el año, pero en especial en invierno; existe escasa radiación y las precipitaciones son frecuentemente sólidas. En estas condiciones, el tema de la humedad del clima queda en segundo plano y por esto no se acostumbra a distinguir entre climas fríos secos y húmedos, aunque la mayor o menor continentalidad de la región de que se trate tiene, como es lógico, repercusión sobre las oscilaciones térmicas y en último caso sobre la dureza de las condiciones térmicas.

Este clima es propio de las regiones de elevada latitud, cercanas a las

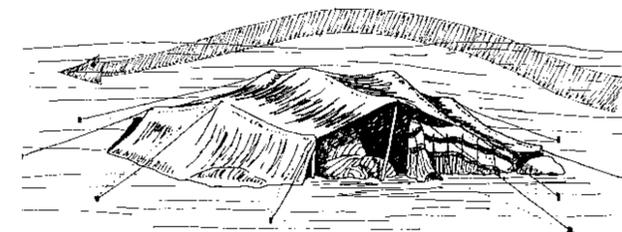
zonas polares. En dichas regiones, la arquitectura autóctona tiene como principal constricción la conservación del calor en su interior. Por ello los edificios son compactos, aislados, con pequeñas aberturas, formas adaptadas para minimizar la acción de los vientos fríos, etc. En ciertos sentidos las formas arquitectónicas en estos climas presentan similitudes con las de los climas cálido-secos, con los que coinciden en la actitud primordial de defensa frente a las condiciones del ambiente exterior.



Aunque no sea propiamente un tipo de clima, también vale la pena considerar la acción específica del **viento** como condicionante de la arquitectura. El movimiento del aire está relacionado con la sensación térmica y por ello puede ser un factor positivo en el caso de los climas cálido-húmedos, a veces negativo en los cálido-secos y siempre claramente negativo en los fríos. Pero, además, los vientos intensos son desagradables, pueden afectar otros aspectos además del térmico y, por ello, a menudo se convierten en factores básicos de la forma arquitectónica.

En la arquitectura popular de muchas regiones de diversas zonas del globo, el viento se muestra con claridad como condicionante de soluciones y sistemas especiales, que

intentan específicamente atenuar su acción. Por este motivo, al considerar los diversos tipos climáticos, incluimos entre ellos los del clima ventoso.



Otro tipo climático a considerar es el de los **climas templados**, donde se presentan acusados cambios de condiciones a lo largo del año, como es el caso del clima mediterráneo. Paradójicamente, es en estos climas donde la arquitectura se hace más compleja, al tener que ser adaptable, aunque sea para cortos períodos de tiempo, a todo el espectro de los tipos básicos de clima que hemos comentado hasta aquí. Así, el problema básico de estos climas no es su dureza, sino el hecho de que, casi en cualquier período del año y hora del día, pueden presentarse condiciones de signo contrario: problema de frío en invierno, que puede ser seco o húmedo (distinción que en este caso sí es importante); problema de calor en verano, que también puede ser seco o húmedo y casi tan intenso como en otros climas extremados, aunque los períodos de tiempo sean siempre más cortos, y, finalmente, el problema del clima variable que, en las estaciones intermedias, puede generar problemas de frío o de calor separados por cortos espacios de tiempo.

Aunque cada constricción por separado no sea realmente crítica, en conjunto hacen que la arquitectura

de los climas templados tenga este mayor grado de complejidad, lo que la hace más difícil desde el punto de vista del diseño.



Por todo ello, en este caso, la arquitectura popular siempre se ha visto obligada a incorporar soluciones y sistemas flexibles, o sea, componentes que puedan cambiar con facilidad su acción según las circunstancias climáticas, como son: sistemas de sombreado móviles, que pueden impedir el acceso de la radiación solar (tiempo cálido), o dejarla entrar por completo en el caso de que ello convenga (tiempo frío); aislamientos móviles en las aberturas, para permitir el aislamiento nocturno; las mismas aberturas deben ser practicables para una total ventilación; espacios intermedios situados entre interior y exterior, para generar



microclimas favorables y ser ocupables sólo en unos períodos de tiempo determinados; etc.

A partir del conocimiento y de la caracterización de estos climas básicos, es posible plantear las grandes líneas de las soluciones arquitectónicas más convenientes para cada caso, pero hay que tener en cuenta que existen otros factores que pueden modificar en gran medida este planteamiento.

Tanto o más importante que el clima general de la región es el entorno próximo a la arquitectura, el ambiente cercano que genera lo que llamamos "microclima de un lugar". En él las condiciones pueden ser muy diferentes de las generales de la zona. Una pendiente a sur o a norte puede significar más de 3 °C de diferencia de temperatura; unos árboles que tapan un viento o un estanque

que humedece el aire pueden generar un microclima muy distinto del existente unos metros más allá.

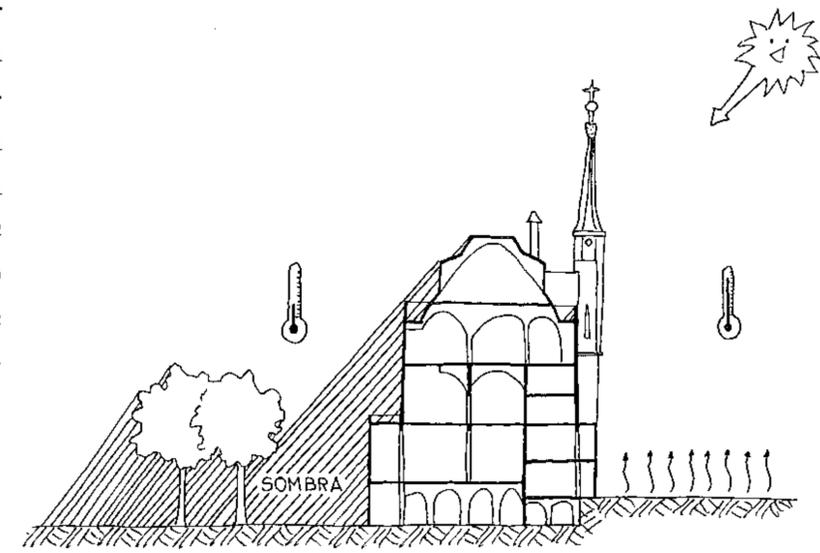
En la arquitectura tradicional el microclima era un factor que se tenía muy en cuenta, tanto al elegir el emplazamiento de un edificio, como al corregir las condiciones de su entorno con elementos vegetales o construidos. De esta forma, con sutiles intervenciones en el paisaje, los edificios se insertaban en un medio ambiente climáticamente mejorado respecto al general de la zona.

Incluso en los asentamientos rurales, la disposición de las calles y las plazas, junto con la vegetación y los edificios, generaban —y aún generan— rincones y zonas donde las condiciones climáticas mejoran sensiblemente las propias del lugar.

Para entender realmente cómo funcionan los climas de la arquitectura que se tratan en este texto, quizá deberíamos comenzar por comprender muy bien el microclima. Muchas veces resulta que elegir en el campo un lugar adecuado para sentarse a descansar, es un acto mucho más arquitectónico que construir un gran edificio; o, al menos, así queremos considerarlo aquí, en nuestra particular visión de la arquitectura y sus climas.

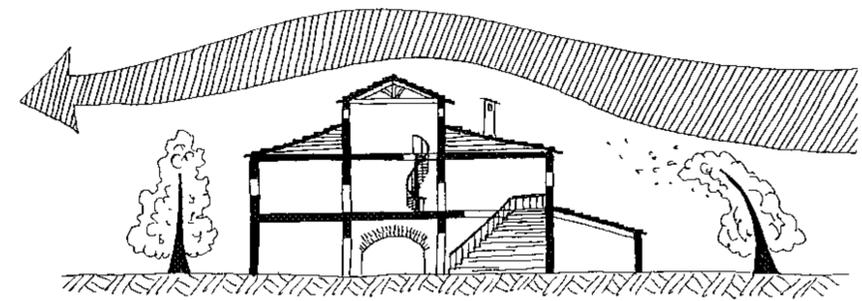
En el entorno próximo de la arquitectura hay dos acciones que resultan fundamentales para definir las condiciones resultantes. Se trata, como no, de las acciones del sol y del viento.

El sol atraviesa el aire y calienta la tierra, que cede parte de este calor al aire que está en contacto con ella. Así, donde el sol incide libremente, el aire es más cálido y, además, del mismo terreno calentado recibimos radiación. Esta simple diferencia puede



generar distinciones térmicas de varios grados entre lugares muy próximos entre sí.

El viento, por su parte, puede modificar por completo las condiciones anteriores. Según su procedencia podrá ser más cálido o más frío, más seco o más húmedo. De esta forma el aire, calentado o no por la acción solar, se mueve, y cambian así las condiciones que generaba la radiación.



El terreno puede continuar estando caliente o frío, pero el aire sobre él se mueve y sólo la radiación mantiene la diferencia entre lugares soleados o en sombra. Además, al aire lo desvían los obstáculos, natu-

rales o artificiales, que impiden su movimiento fluido y, al final, en cada lugar específico puede resultar una mayor o menor acción del viento y, con ello, un microclima diferente.

La acción conjunta del sol y del viento provoca la variación microclimática de los cuatro parámetros ya comentados: la temperatura del aire, la radiación, la humedad y la velocidad del aire. Es la conjunción de todos ellos la que define la sensación de comodidad de las personas, a la vez que influye sobre las condiciones y el comportamiento de los edificios situados en cada microclima específico. En cualquier análisis microclimático será imprescindible tratarlos considerando su interrelación.

Para realizar este tipo de análisis, resulta especialmente útil preparar esquemas gráficos que resuman las condiciones microclimáticas de la zona o lugar en donde se debe intervenir arquitectónicamente.

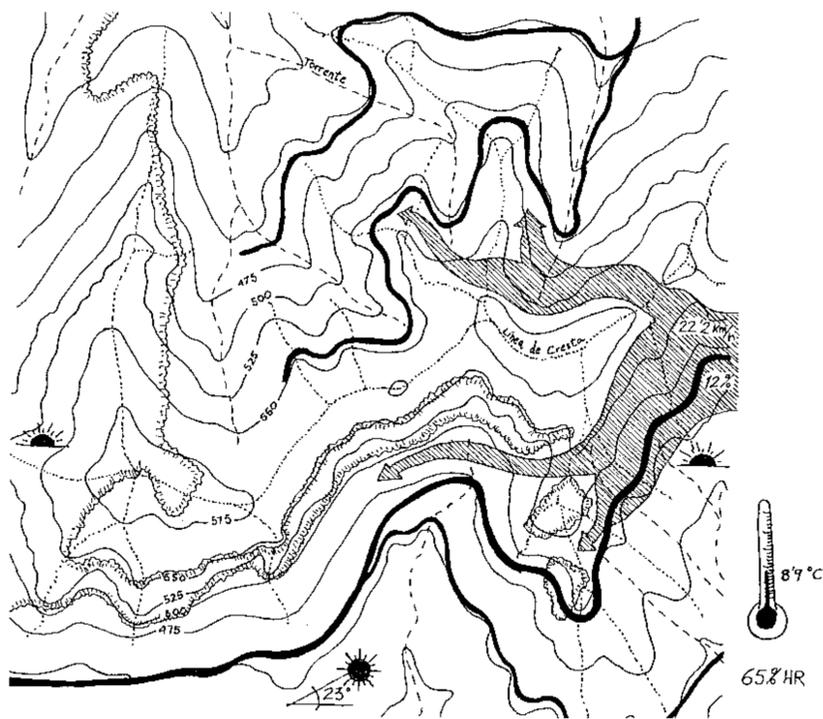
Estos esquemas pueden realizarse para distintas épocas del año y para distintos tipos de viento dominante o de tipo de día (soleado, nublado, etc.).

Aunque el esquema básico se realiza en planta, puede ser útil incluir también esquemas en sección, que es donde las acciones del sol y del vien-

to pueden quedar mejor expuestas.

Entre los parámetros a considerar en el esquema, conviene incluir, además del sol y el viento, otros importantes factores ambientales, como son las incidencias acústicas o las visiones del paisaje desde el lugar que se está analizando. Se debe tener presente en todo momento que los factores ambientales que no son puramente climáticos influyen también de manera decidida en el bienestar.

Resulta entonces, al comenzar este texto, que alrededor de la archi-



tectura pasan cosas importantes. El clima y el paisaje, como el sonido y los habitantes del núcleo urbano, son todos parte de este entorno que da razón de ser a la arquitectura y, a la vez, la obligan a defenderse, acoplarse o aprovecharse de las circunstancias ambientales que la rodean.

## El difícil bienestar

El confort que el ser humano percibe en un lugar determinado, en la práctica resulta un fenómeno mucho más complejo de lo que pretenden hacernos creer muchos de los especialistas. La causa está en que intervienen a la vez parámetros y factores diversos, cosa que normalmente se olvida y que resulta decisiva para este tema.

Los **parámetros ambientales o de confort**, son aquellas características objetivables de un espacio determinado, que pueden valorarse en términos energéticos y que resumen las acciones que, en dicho espacio, reciben las personas que lo ocupan. Como tales, dichos parámetros pueden analizarse con independencia de los usuarios y son el objeto directo del diseño ambiental en la arquitectura.

Algunos de dichos parámetros son **específicos** para cada sentido (térmicos, acústicos, visuales, etc.), lo que permitirá que, en muchos casos, puedan calcularse con unidades físicas ya conocidas (grado centígrado, decibelios, lux, etc.), al tratarse simplemente de unidades de medida de las condiciones energéticas que se producen en un ámbito determinado. Pero también existen los parámetros **generales**, que afectan a todos los sentidos a la vez, como es el caso de las mismas dimensiones

del espacio de que se trate, el factor temporal con los cambios que se puedan producir, etc.

Los **factores de confort**, en cambio, son aquellas características que corresponden a los usuarios del espacio. Son por lo tanto condiciones exteriores al ambiente, pero que influyen en la apreciación de dicho ambiente por parte de estos usuarios. Estas condiciones personales serán de distinto tipo, según se trate de condiciones: **biológico-fisiológicas** (como edad, sexo, herencia, etc.), condiciones **sociológicas** (como el tipo de actividad, la educación, el ambiente familiar, la moda, el tipo de alimentación o la aclimatación cultural), y **psicológicas**, según las características individuales de cada uno de los usuarios.

El confort que ofrezca un ambiente determinado dependerá, en cada caso, de la combinación que se presente entre los parámetros objetivos y los factores del usuario. La función básica de la arquitectura en el diseño de ambientes habitables, se realizará sobre los parámetros de confort, pero se precisará siempre de un conocimiento de la influencia de los factores para conocer la repercusión real de las decisiones que se tomen.

Como una aproximación al problema, reproducimos a continuación la relación de los parámetros

TIPO	CONCEPTO		SÍMBOLO	UNIDAD	LÉXICO
VISUALES	Iluminancia (nivel)		E	lux	alto/bajo
	Luminancia (contraste)		L	—	alto/bajo
	Direccionalidad (efecto sombra)		—	—	difuso/dirigido
	Color luz	Temper. color	Tc	K	frío/cálido
		Rendim. color	IRC	%	bueno/malo
Color del ambiente		—	—	neutro/vivo	
ACÚSTICOS	Nivel sonoro		N	dB	alto/bajo
	Tono (frecuencia fundamental)		f	Hz	agudo/grave
	Timbre (composición espectral)		—	—	tipo...
	Direccionalidad		—	—	difuso/dirigido
	Reverberación (tiempo de)		TR	s	alto/bajo
CLIMÁTICOS	Temperatura	del aire	Ta	°C	alto/bajo
		de radiación	Tr	°C	alto/bajo
	Humedad relativa		HR	%	húmedo/seco
	Movimiento del aire		v	m/s	fuerte/flojo
	Composición del aire		—	—	limpio/sucio

ambientales más comunes, como elementos que deberían tenerse en consideración como objetivos del diseño arquitectónico.

Aunque el empeño de muchos especialistas de las diferentes técnicas ambientales ha sido, durante muchos años, valorar con precisión los parámetros y los factores de confort; la conclusión inevitable de nuestra experiencia es que la variación a que inducen los factores sobre los requerimientos hace que, en la práctica, dichos sistemas de valoración resulten inexactos.

Acostumbrados a definir la arquitectura como forma geométrica, el espacio como proporción y el edificio como función y uso con un valor estético añadido; olvidamos con

frecuencia la posibilidad de valorarla también en términos de energía, como suma compleja de luz y color, sonido, temperatura y calidad del aire.

Cuando hablamos, en el más amplio sentido, de "los climas de la arquitectura", entendemos que debe trabajarse el espacio a partir de los parámetros de confort entendidos como objeto del diseño, aplicándolos en dos niveles sucesivos:

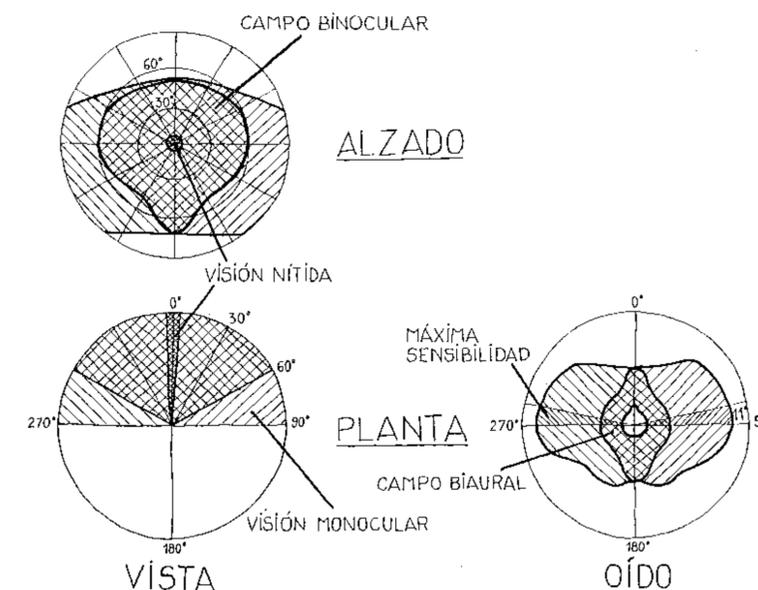
En un **primer nivel** dichos parámetros se diseñan para conseguir el adecuado bienestar en el espacio ocupado y para ello se deben conocer todos los factores involucrados, para, teniendo en cuenta todos los parámetros, conformar el ambiente más adecuado.

En un **segundo nivel**, el objeto del diseño ambiental sería la conformación del ambiente en términos perceptivos y estéticos. En este caso se trata de entender el ambiente de la arquitectura, con sus parámetros de luz, calor, sonido, etc., como transmisores de información. Esta información que ofrecen los parámetros, permite el reconocimiento, consciente o inconsciente, de las cualidades del espacio y en ello tienen especial importancia las capacidades perceptivas humanas para los diferentes sentidos y las diferentes formas de energía.

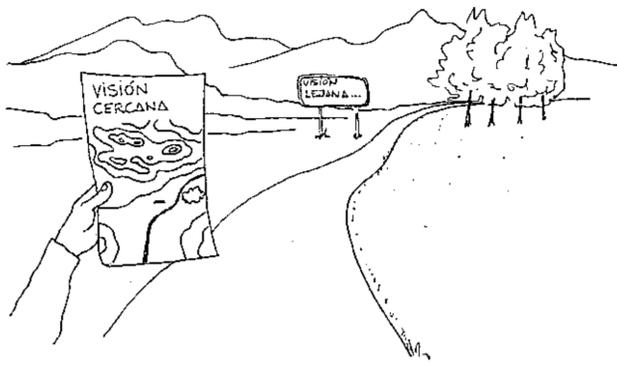
En el caso de la percepción espacial, los dos sentidos básicos involucrados son el de la vista y el del oído. Normalmente, ambos sentidos se complementan mucho más de lo que imaginamos. La percepción visual es más precisa, pero la percepción acústica nos permite evaluar características del espacio inapreciables por la vista. El ejemplo más claro de esta complementariedad se presenta cuando comparamos ambos campos perceptivos en planta y en sección, denotándose cómo el oído complementa a la vista al cubrir la percepción de la dirección posterior, que ésta no percibe.

Como una parte importante de la percepción espacial, está la "localización de la dirección" de donde procede un estímulo. En el caso de la vista, esta localización se realiza complementando la dirección de la cabeza, con la orientación de los

ojos, informándose al cerebro a través de los músculos que controlan dichas orientaciones, dependiendo también la interpretación final, en gran medida, de la experiencia previa. En el caso del oído, en cambio, la información sobre la dirección se produce gracias a la dualidad de los órganos sensibles (biauralidad), que en conjunción otra vez con la experiencia nos informa de la dirección de procedencia del sonido, aunque con la limitación de que, al estar ambos oídos a la misma altura, no existe prácticamente distinción para la posición en altura de la fuente sonora.



Otro elemento importante de la percepción espacial es la "apreciación de la distancia". En el caso de la vista se combinan distintos mecanismos, desde la deformación del cristalino del ojo al enfocar la imagen, que permite la evaluación a distancias cortas; pasando por la visión binocular, que al cambiar la imagen de un ojo respecto al otro, permite saber la situación relativa de los objetos dentro del campo visual, conjuntamente con el mismo efecto de



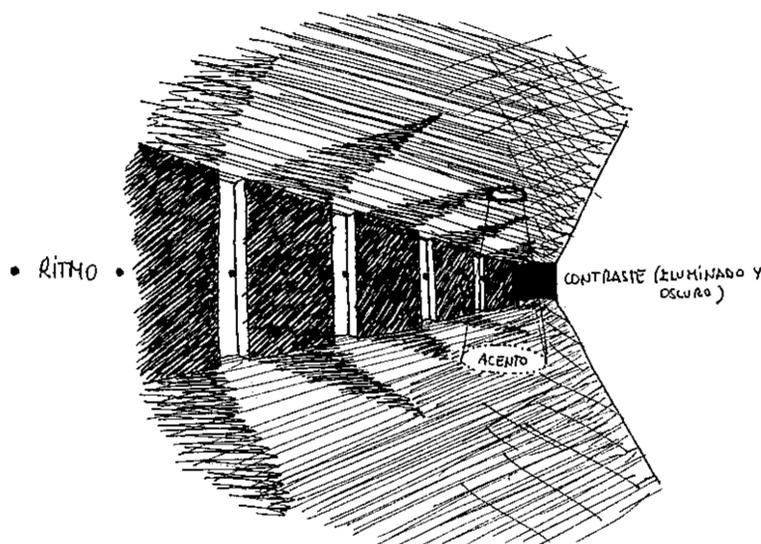
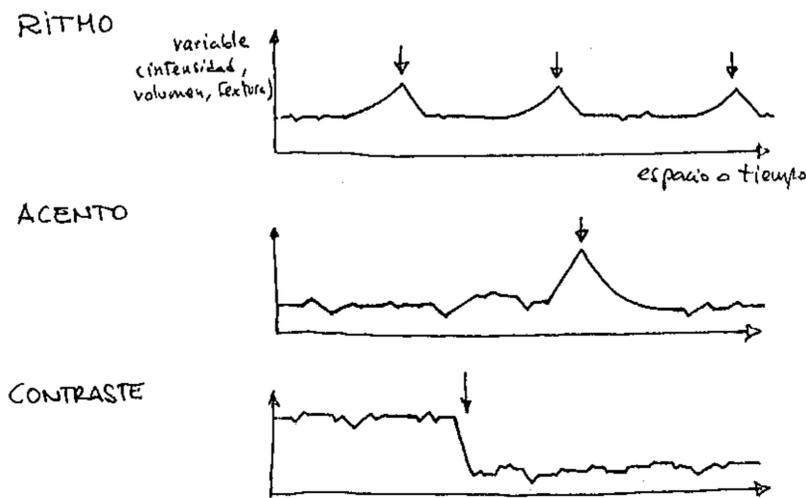
convergencia de los ojos en distancias próximas; hasta llegar al más importante, el aprendizaje de la medida aparente de los objetos conocidos, que es el sistema que más utilizamos, aunque pueda engañarnos fácilmente si son entornos desconocidos o de escala diferente de la normal.

En el caso del oído, por el contrario, la apreciación de la distancia se apoya casi exclusivamente en la experiencia, ligada con la intensidad del sonido que percibimos, lo que representa una escasa precisión del sentido en dicha apreciación de la distancia.

Pero además de ser percepción, la transmisión de información es también estética. Los parámetros ambientales, al ser energías que interactúan libremente con los seres humanos, generan impulsos de información con una ordenación propia, de la que resulta a la postre un mensaje estético, capaz de producir las emociones que normalmente asociamos con las expresiones artísticas más convencio-

nales, de la música, la literatura o las artes plásticas.

Este papel estético de los parámetros ambientales, queda más patente si analizamos brevemente su capacidad para generar las sensaciones que asociamos al concepto de belleza. Para ello tendremos en cuenta como todos los tipos de expresión artística utilizan los mismos recursos básicos de composición. Estos recursos ("herramientas artísticas"), son, entre otros, el ritmo (en el tiempo



po o en el espacio), el énfasis o acento (positivo o negativo) y el contraste (de intensidad, de color, de tono, de volumen, etc.).

Da lo mismo que se trate de pintura, cine, música o literatura; en to-

dos ellos se hace uso de estas herramientas básicas, que se convierten en obra artística a través de otras herramientas materiales de la expresión en concreto, que son las que producen el resultado aparente y la consiguiente transmisión del mensaje al receptor.

Como es evidente, el hecho de que se utilicen estas herramientas artísticas no tiene nada que ver con la calidad del resultado que se obtenga. Usando ritmos, acentos y contrastes se pueden generar pésimas obras; el valor estético depende de "algo más" que esto. Pero también es cierto que, sin estas herramientas, no existirá mensaje coherente y faltará la expresión artística y, por lo tanto, en su caso, la belleza.

Admitiendo lo que afirmamos en los párrafos anteriores, podemos ahora juzgar la capacidad de las energías ambientales para generar este tipo de expresiones artísticas. En mayor o menor medida vemos que, tanto los parámetros de la luz como los del sonido, los térmicos y los del aire, tienen capacidad para establecer en el interior de los edificios, en el tiempo y en el espacio, ritmos, énfasis o contrastes, con todas sus posibles variantes. En consecuencia, defendemos aquí que los parámetros ambientales son también portadores de información estética. En último término, el bienestar de los ocupantes de la arquitectura está también condicionado por ello.

Por lo tanto, sea considerando los parámetros ambientales como meros agentes de confort fisiológico, o sea valorándolos también como transmisores de información, simplemente perceptiva o estética, su papel en

la arquitectura es el de agentes principales. Por ello su diseño, el diseño ambiental, no debe quedar relegado al de un área técnica de apoyo o corrección, sino que deben entenderse como objeto directo del proyecto, capaces no solo de conformar el espacio, sino de ser los protagonistas principales del mismo.

Otro hecho que frecuentemente pasa inadvertido, es la influencia que en la apreciación de estos parámetros tienen los factores culturales. Tanto en los aspectos más perceptivos como en los de la comodidad fisiológica, la evolución histórica, así como el tipo de sociedad de que se trate, generan respuestas heterogéneas frente a estímulos similares.

Considerando como ejemplo el caso térmico, se comprueba como, en distintos períodos históricos, ha existido una sensibilidad muy diferente al frío y al calor. Además, está comprobado experimentalmente que dicha sensibilidad es un factor cultural aprendido, desarrollado a lo largo de los años por los niños, en estrecha asociación con el aprendizaje del lenguaje.

Consideraciones similares se podrían hacer sobre la percepción lumínica o acústica, con sus importantes repercusiones sobre la comodidad, la percepción y la sensación estética. Resulta ilustrativo, como ejemplo, reflexionar desde nuestra cultura sobre la estética de los espacios con bajo nivel de luz, propia de otras culturas en los que el brillo y el reflejo cobran un valor especial, del que carecen nuestros ámbitos modernos inundados de luz, en los que hasta las piedras preciosas pierden su fulgor.

Estas reflexiones sobre la importancia del factor cultural son las que nos hacen valorar mucho los componentes psicológicos del ambiente. Las respuestas humanas a los parámetros ambientales, sea desde el confort o desde la percepción y la estética, son dependientes de la psicología de las personas usuarias del ambiente.

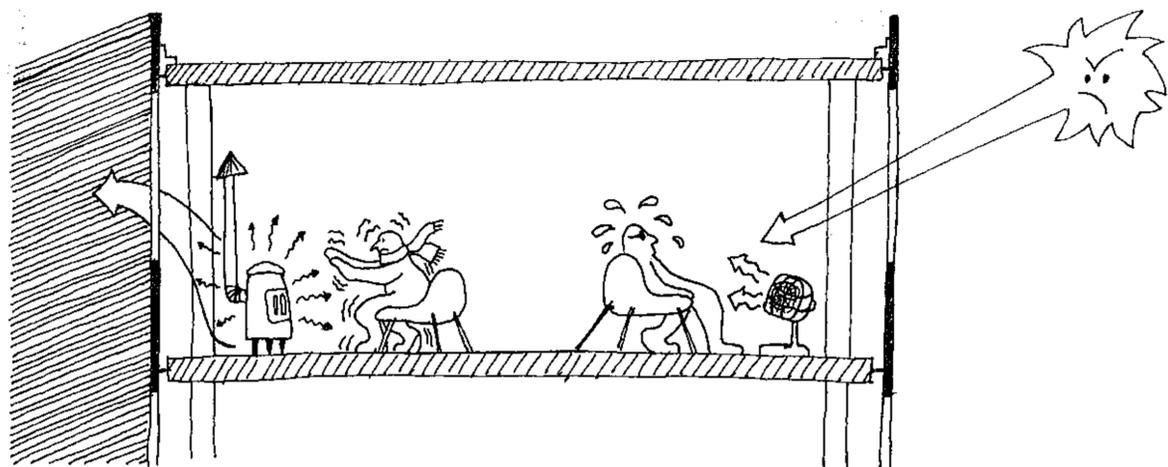
En este contexto, admitiendo que existen marcadas variaciones de carácter en las personas, que van de la introversión a la extroversión, de la neofilia a la neofobia, de la claustrofobia hasta la agorafobia, etc., la respuesta de los ocupantes de un ambiente a los parámetros ambientales puede ser mucho más dispar de lo que los estudios convencionales de confort nos hacen creer.

Entre los componentes psicológicos a considerar en el diseño ambiental, también es muy importante

cológica de cambio en nuestra percepción, o por factores fisiológicos involucrados en dicha percepción, los ambientes dinámicos, normalmente asociados con el uso de las energías naturales, admiten márgenes de confort mucho más amplios que los ambientes estáticos.

Otro factor psicológico, quizás el más relevante en la práctica, es el de la posibilidad de control de las características del propio ambiente por parte del usuario. Ello está ligado con la sensación de claustrofobia en ambientes cerrados, que resulta agudizada, además, por parámetros como colores cálidos, temperaturas altas, sonidos graves, alto nivel de ruido, colores rojizos con altos niveles lumínicos, etc.

En diversos estudios de campo se ha demostrado que en el caso de ambientes manipulables por el usuario, los márgenes de confort se am-



el de la variación temporal de los parámetros lumínicos, acústicos, térmicos y del aire. Aunque los estudios de confort por lo general consideran que en el caso del ambiente estático, está demostrado que la variabilidad en el tiempo de los parámetros es un factor positivo en el confort de las personas. Sea por la necesidad psi-

plían hasta el doble de los que se detectan en ambientes rígidos. Un ejemplo típico de este fenómeno es el caso de edificios con cerramientos fijos, ventanas o muros-cortina no practicables. En ellos aparecen con mucha mayor facilidad sensaciones de incomodidad y los usuarios son mucho más exigentes -y en conse-

cuencia protestan más- a propósito de los parámetros ambientales.

La consecuencia final de todas las consideraciones que pueden hacerse sobre el bienestar es que, en cualquier espacio arquitectónico se puede actuar, desde el inicio del diseño, sobre los parámetros ambientales que resultarán en el edificio.

De esta forma seremos capaces de actuar sobre el confort de los ocupantes del espacio, pero sin pretender en ningún caso obtener resultados seguros. La interacción entre distintos parámetros, la repercusión de los distintos factores del usuario, la influencia de los factores psicológicos, la variabilidad y, sobre todo, la posibilidad de acción y control de los parámetros por parte del mismo usuario, son decisivos en el resultado final.

En resumen, nada es solución única, rígida y estática; el control

del ambiente exige un cierto descontrol y no se puede hacer simplemente "ingeniería del ambiente", sino que cualquier acercamiento técnico-numérico debe entenderse como un complemento de lo que llamaríamos "arquitectura del ambiente", enfoque global del diseño, en el que la persona receptora del mismo pasa a ser el primer factor a considerar.

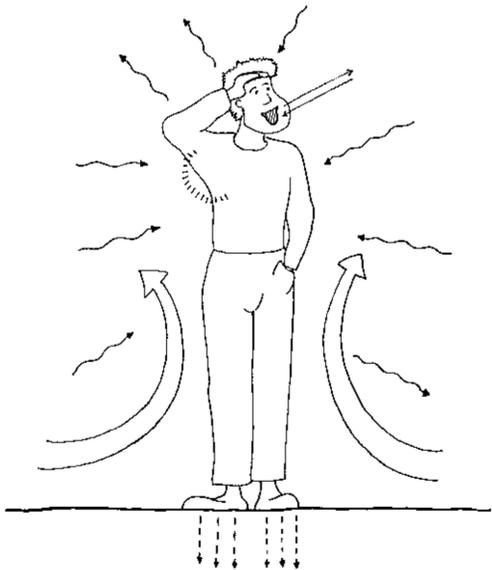
A partir de este punto, comentando el edificio en su relación con el entorno y sus climas, reconocido también brevemente el difícil bienestar, iniciamos el recorrido por algunos de los climas que existen en arquitectura, entendiéndolos como conocimiento y poesía, comodidad y utilidad, evidencia y engaño, afirmación y negación, relato y silencio. En el ambiente, en los climas de la arquitectura, no hacen más que reflejarse, otra vez, todas las dualidades de la vida humana.

## El clima del aire y de la humedad

Cuando imaginamos cuáles y cómo son las condiciones ambientales de un espacio determinado, es inevitable que comencemos pensando en el aire contenido en dicho espacio. Realmente este aire resume por sí solo, aparte de otros valores ambientales, tres de los cuatro parámetros que condicionan la sensación térmica: su propia temperatura, su contenido de vapor de agua (humedad) y, por último, su movimiento (velocidad del aire).

Las dos primeras características pueden estudiarse conjunta e independientemente de la del movimiento y su repercusión en la comodidad procede, como es lógico, de la influencia que tienen sobre las pérdidas y ganancias de calor del cuerpo humano.

Así, mientras la temperatura del aire influye en la sensación de calor



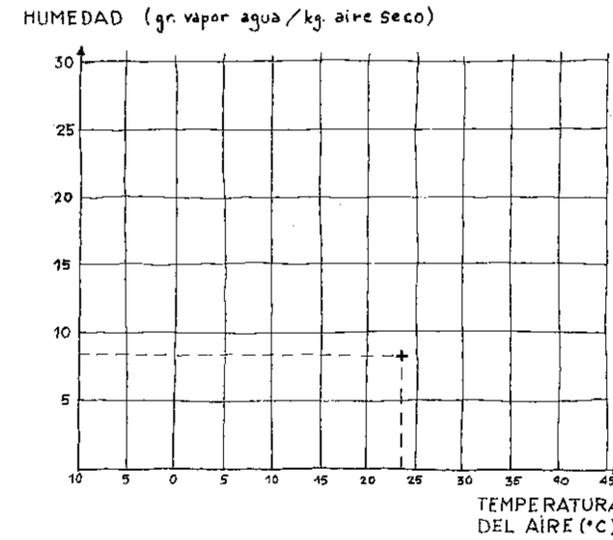
del cuerpo a través de la piel y del aire que respiramos, la humedad del aire, si es baja, permite una mayor evaporación de la humedad de nuestra piel (sudor), a la vez que mayor cesión de vapor de agua al respirar. De esta forma nos refrigeramos, cediendo calor y humedad al aire, dos formas conjuntas y paralelas en su acción.

También es cierto que el tercer parámetro del aire, su movimiento, actúa sobre los dos primeros, ya que el aire que se mueve sobre el cuerpo humano incrementa a la vez la cesión de calor y la cesión de humedad de la piel al aire. Por todo ello, podemos resumir las acciones de los tres parámetros diciendo que, en líneas generales, mayor temperatura y mayor humedad del aire producen más sensación de calor, mientras que su movimiento produce sensación de frío.

Más complicado resulta cuantificar estas acciones, aunque en el caso del movimiento del aire resulta bastante sencillo hacer una valoración aproximada. Cada 0,3 m/s de velocidad del aire viene a equivaler al descenso de 1° C en la sensación térmica de la persona sometida a esta corriente de aire.

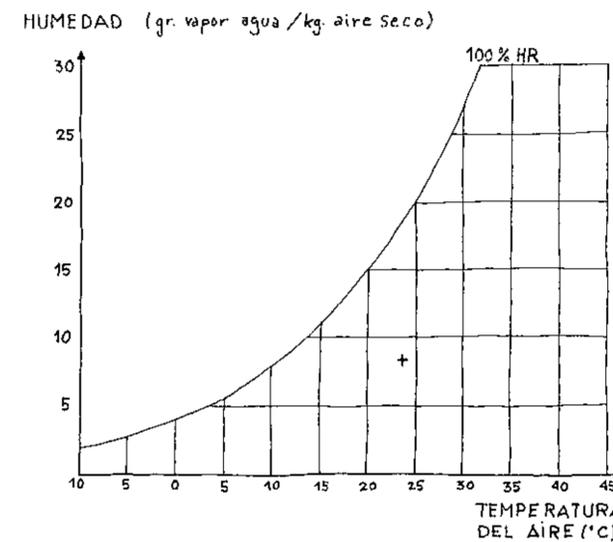
En el caso de la influencia conjunta de la temperatura y la humedad, la cuantificación resulta algo

más compleja. Para realizarla, utilizamos un gráfico de planteamiento relativamente simple, colocando en las abscisas temperaturas del aire y en



las ordenadas cantidades de vapor de agua presentes en el aire (humedad).

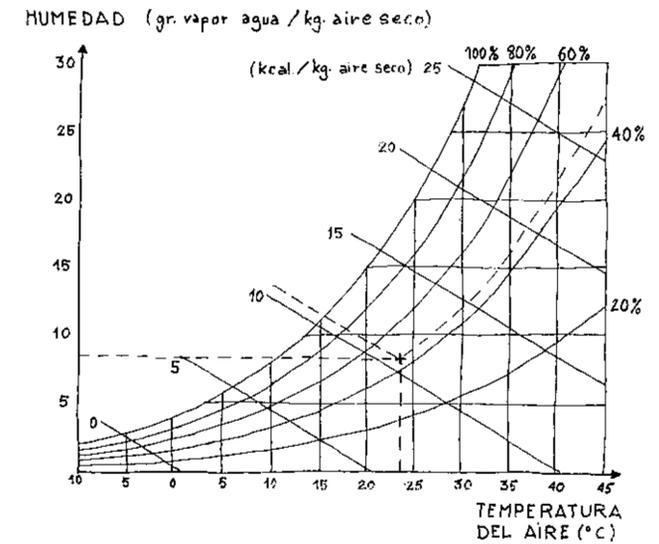
Más hacia la derecha o más hacia arriba en el gráfico significa mayor sensación de calor. Por otro lado, como existe un límite en la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener para cada temperatura, existe



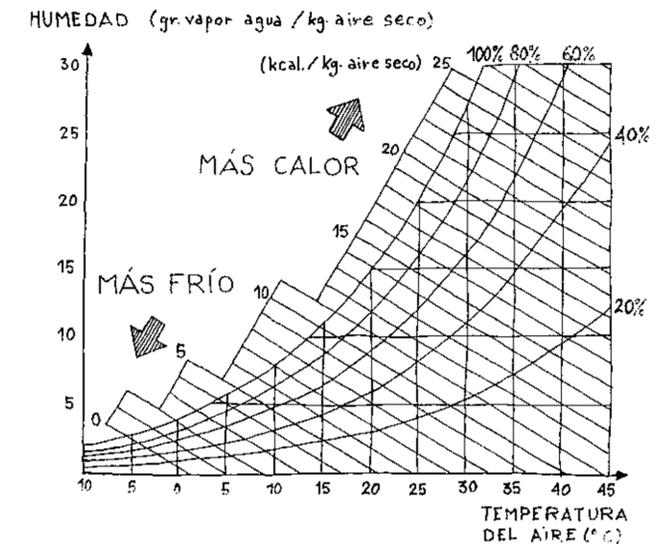
un sector del gráfico donde las condiciones no son físicamente posibles (el agua presente en el aire pasa a forma líquida, condensándose).

Definido así el gráfico, podemos dibujar en él las líneas que corresponden a iguales sensaciones de hume-

dad o sequedad (curvas de humedad relativa) y, todavía más importantes, las líneas de igual cantidad de energía en el aire (isoentálpicas).



Estas líneas de entalpía se corresponden, con relativa exactitud, con las sensaciones térmicas de las personas. Así, las líneas más a la derecha (y más altas) en el gráfico corresponden con sensaciones más cálidas, y las situadas más a la izquierda, con sensación de más frío.



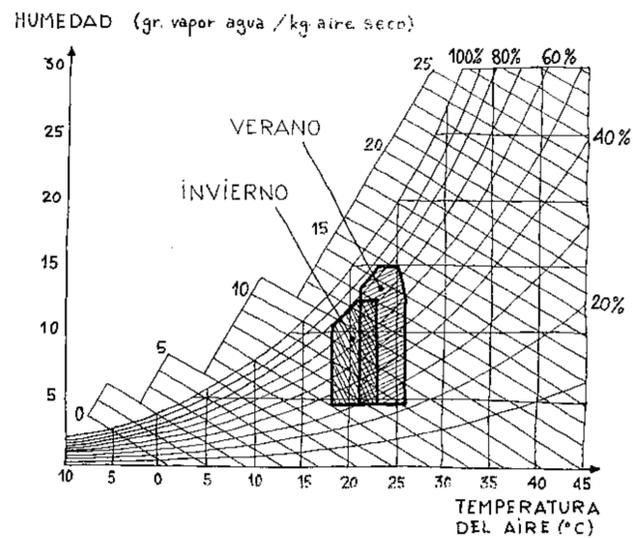
Pero esta regla general deja de ser válida en ciertas condiciones especiales, cuando se unen la presencia de aire frío (no es preciso que sea muy frío), con altas humedades. En este caso, la mayor humedad no significa mayor sensación de calor,

como ocurre en otros casos, sino mayor sensación de frío. Este hecho se aplica en el caso de personas vestidas, en las que el humedecimiento de la ropa aumenta su conductividad y se empeoran así indirectamente las condiciones, en especial en situaciones estáticas de estancias prolongadas. Este fenómeno, a pesar de que es muy conocido por las personas que viven en climas litorales, curiosamente tiende a olvidarse en los tratados clásicos de bienestar térmico.

En cualquier caso, lo que sí está reconocido es que en condiciones de alta humedad, la comodidad térmica resulta mucho más difícil. Incluso en condiciones cercanas a la del aire saturado, las personas pasan directamente de experimentar sensación de bochorno, a la incomodidad del frío, sin puntos confortables intermedios en toda la gama de variación de la temperatura del aire.

En el extremo opuesto, en condiciones de muy baja humedad, también se llega a un punto de molestia fisiológica, aunque no sea térmica, en el que la sequedad del aire reseca las mucosas nasales y dificulta en gran medida la respiración.

Entre estos límites, pues, se mueven las condiciones de comodidad térmica. Como siempre, esta comodidad dependerá de los factores del usuario ya comentados: tipo de actividad, vestido, aclimatación, etc., resultando algo ingenuo fijar valores concretos o límites estrictos para la comodidad, aunque se haya hecho así muchas veces. En general, hay que hablar de temperaturas del aire entre 15 y casi 30 °C, con humedades



entre el 40 y el 80% de la de saturación para cada temperatura.

Dentro de estos valores el bienestar térmico será posible, dependiendo siempre de los ya mencionados factores, pero lo más probable es que, para unas condiciones determinadas, la inmensa mayoría de los usuarios se muestren insatisfechos o al menos incómodos, cosa que acostumbra suceder en los edificios que habitamos.

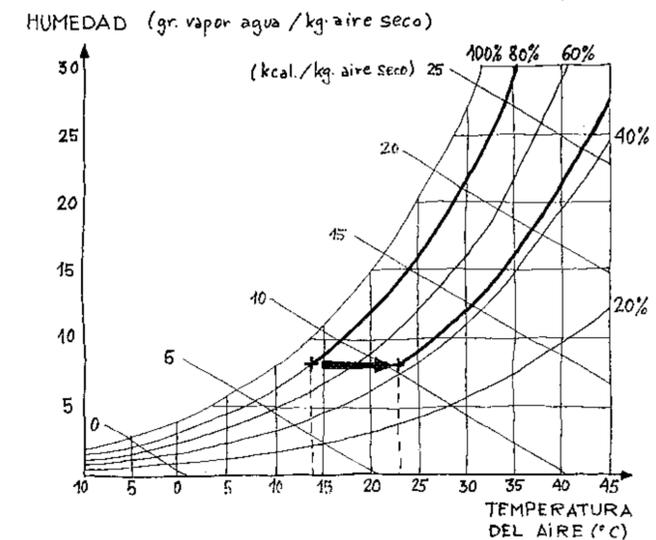
El problema del confort térmico tiene difícil solución, si es que ésta existe, y quizá la única actuación razonable consiste en ofrecer al usuario las máximas posibilidades de control sobre las condiciones de su ambiente y, en cualquier caso, procurar que este entorno tenga cierta "variabilidad natural" en el tiempo, que, como ya hemos comentado, siempre facilitará una mejor adaptación a las condiciones ambientales.

El interior de los edificios presenta, por su mismo principio de existencia, condiciones ambientales particulares, diferentes a las del ambiente exterior y teóricamente más adecuadas a la ocupación humana. Entre estas condiciones, las de temperatura y humedad del aire merecen un comentario particular.

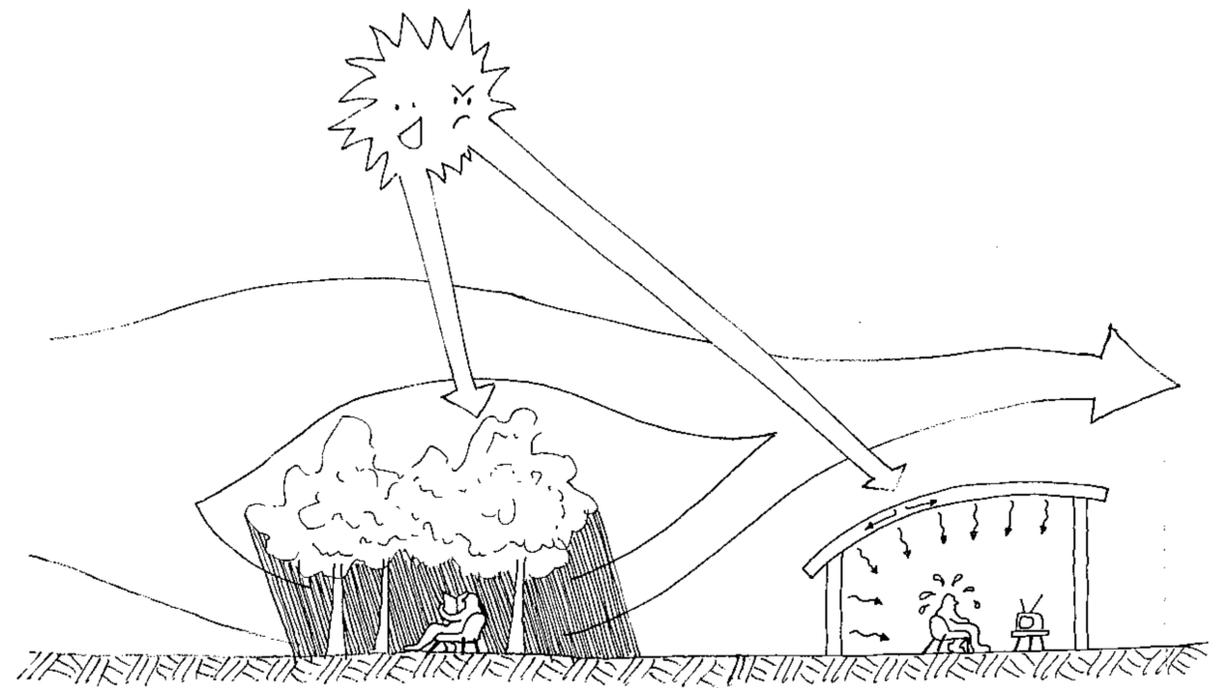
Los espacios interiores de la arquitectura son, por lo general, de temperaturas menos variables que el exterior, simplemente por el efecto de barrera y acumulación de energía que producen los mismos cerramientos. Por otro lado, en los interiores se encuentran normalmente temperaturas y humedades algo superiores a las del exterior, debido al efecto de la ocupación y de la inmovilidad del aire en el interior.

Según esto, lo normal y lógico es que las condiciones térmicas interiores sean más agradables que las exteriores, pero por desgracia en algunos países, en especial en tiempo cálido, sucede con frecuencia lo contrario y en el interior se dan condiciones peores a las que simultánea-

la sensación de bochorno produce una gran incomodidad, sólo mitigable si se consigue generar un movimiento del aire, capaz de reducir la



sensación de calor al incrementar las pérdidas por convección y la evaporación de la transpiración del cuerpo.



mente se presentan en el exterior. En cierto sentido se podría afirmar que muchos edificios "funcionan peor que el clima".

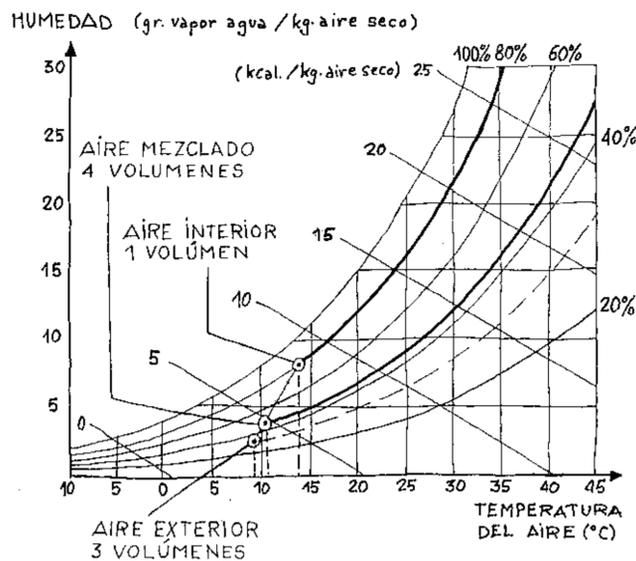
La causa directa de este desconfort acostumbra ser el simple exceso de humedad. En condiciones de calor y con el aire más o menos inmóvil,

Menos conocido, pero igualmente grave, es el caso, ya comentado, en que coinciden una temperatura algo baja con una humedad elevada. En este caso, el humedecimiento de la ropa produce, en estancias prolongadas, una acusada sensación de frío interior, muy difícil de combatir.

Aunque en este caso la solución obvia es aumentar la temperatura (con lo que también disminuye la humedad relativa del aire), ésta no es la única solución.

La solución alternativa, o más bien complementaria, consiste en producir una adecuada ventilación. Aunque en primera instancia esto enfríe más el aire interior, se produce también un acentuado descenso de humedad, se secan las ropas y a la larga aumenta la sensación de bienestar.

Pocas veces este principio se ha comprendido y desgraciadamente es frecuente, en invierno, encontrar interiores con el aire tan cargado de humedad que llega a producirse niebla en el mismo, aparte de condensaciones sobre todas las superficies



frías. En estas condiciones resulta imposible obtener el bienestar térmico, por mucho que actuemos sobre la temperatura del aire.

Como muchas de las actividades que se realizan en el interior de un edificio en la práctica generan humedad y, además, los ocupantes también la desprenden con la transpiración y la respiración, la solución para combatir su exceso desde el di-

seño arquitectónico consiste en facilitar la ventilación.

Por otro lado, en la arquitectura moderna, con techos bajos, ocupaciones elevadas y cerramientos con frecuencia impenetrables al paso del vapor de agua, esta necesidad de ventilación se hace todavía más marcada.

En consecuencia, en el caso de climas húmedos y tanto en invierno como en verano, las estrategias de ventilación tienen una importancia básica en los edificios. El clima del aire y la humedad, complejo por su misma esencia, pide a la arquitectura soluciones también complejas.

Suponiendo entonces que pretendemos optimizar el funcionamiento natural de los edificios en el caso de climas templados, deberemos distinguir en una primera aproximación el régimen de invierno del de verano, teniendo presente que, en referencia al aire y la humedad, los casos que se pueden presentar en épocas intermedias serán asimilables a uno de los dos anteriores.

En situación de frío, en **invierno**, la estrategia principal consistirá en conservar el aire caliente del interior. Será conveniente aislar al máximo los cerramientos, dificultando la pérdida de calor por transmisión a través de los mismos. Al planificar estos aislamientos resulta provechoso tener en cuenta las características térmicas del espacio exterior del que nos separan, distinguiendo y reforzando el aislamiento en las zonas más frías o más expuestas al viento, aunque sea en detrimento de los cerramientos que conectan con zonas más protegidas (fachadas orientadas hacia el sur o que dan a un patio interior).

Además del aislamiento, también

resulta importante limitar las penetraciones de aire exterior frío y las consecuentes pérdidas de aire caliente interior. Esto significa conferir estanquidad a los cerramientos de las aberturas practicables, como puertas y ventanas. Sin embargo, esta reducción de las pérdidas de calor por ventilación tiene sus límites y muchas veces no es prudente extremar dicha estanquidad.

A efectos higiénicos, siempre es necesaria una renovación del aire interior que se supone viciado. Entre 15 y 30 m<sup>3</sup> de aire por hora y persona son los mínimos aconsejables a este respecto. Además, en climas húmedos en invierno la renovación del aire es necesaria para combatir los ya mencionados perniciosos efectos de la alta humedad interior. En este caso, el límite inferior a considerar es el de renovar como mínimo, en cada hora, la mitad del volumen del aire interior.

Con estas limitaciones, en nuestros climas, no es muy útil mejorar excesivamente la estanquidad e incluso las mejoras en el aislamiento resultan irrelevantes frente a la pérdida de calor por renovación de aire.

De todas formas llegando a estos extremos, el comportamiento térmico del edificio será, en los climas que tratamos, suficientemente bueno como para procurar adecuadas condiciones térmicas interiores, teniendo presente además el aporte de calor que puede procurar la radiación solar (ver El clima de la luz y el sol).

Otro planteamiento distinto será el del caso de **verano**. En él la estrategia principal será el aprovechamiento máximo de los beneficios de la ventilación, teniendo en cuenta que

dicha ventilación puede contribuir a la comodidad de diversas formas:

a) La acción contra la humedad. El aire exterior, aunque sea húmedo, en valores absolutos siempre lo será menos que el aire interior estancado. En este caso se deberá favorecer la ventilación continua, de día y de noche, aunque no es preciso que el volumen de aire sea muy elevado (2 o 3 volúmenes/h serán suficientes para conseguir buenas condiciones).

b) La acción directa sobre el cuerpo humano de la corriente de aire en movimiento que, como ya sabemos, mejorará (según la velocidad del aire) la sensación térmica en algunos grados la temperatura de sensación. Aquí el peligro será introducir aire exterior más cálido que el interior, con lo que se perderían las ventajas de esta acción.

Por otro lado, existen límites de comodidad para la velocidad del aire, que no conviene que supere un m/s. Con esta táctica, la ventilación continua es de caudal alto y supone, para ser efectiva, un intercambio de aire interior-exterior superior a los 30 volúmenes hora.

c) La renovación del aire interior con aire exterior a más baja temperatura (y también menor humedad si es posible). Esto se puede conseguir mediante ventilación nocturna o ventilaciones que introducen aire proveniente de zonas especiales, en las que el aire es más fresco (patios, subterráneos, etc.).

En estos casos no es preciso que la renovación sea muy alta e incluso, cuando se toma aire de dichas zonas especiales, conviene limitarla para evitar el rápido agotamiento de la reserva de aire fresco.

La aplicación de estas diferentes tácticas en los edificios implicará la existencia de una disposición de aberturas tal que permita disponer con sencillez los diferentes tipos de ventilación. En general, serán imprescindibles aberturas para la salida del aire en la parte alta de los locales, otras dispuestas en los paramentos verticales de fachadas opuestas, para permitir la ventilación transversal en caso de que exista viento y, por último, como solución de diseño básico, la disposición de zonas exteriores o semiexteriores frescas, subterráneos, patios o jardines, como reservas de aire fresco.

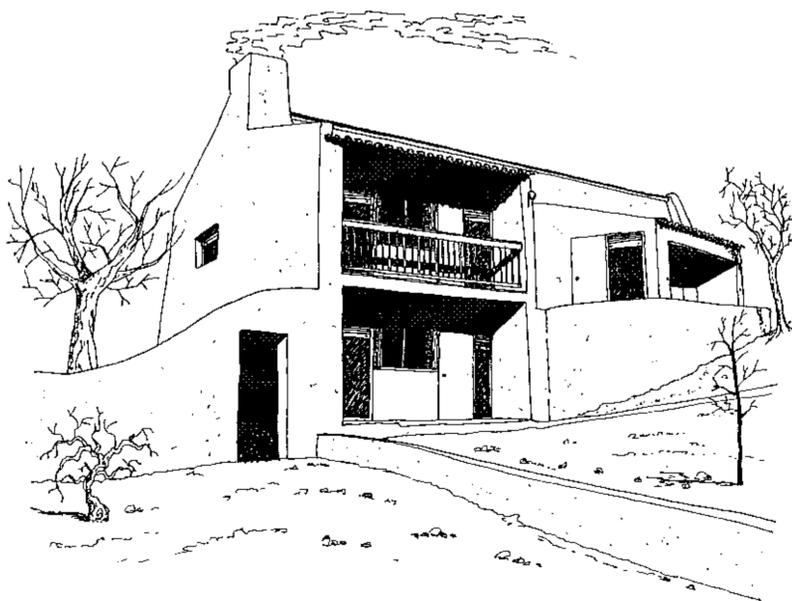
En el caso más complicado de la ventilación transversal, usada como refrigeración directa sobre el cuerpo, existe la necesidad de un caudal de aire mucho mayor, que puede quedar mitigada con la selección de zonas interiores preferentes por las que se hace pasar la corriente de aire, en detrimento de otras zonas de menor ocupación, donde se permite un aire más estático.

Las **soluciones arquitectónicas** necesarias para conseguir un adecuado clima del aire y la humedad, resultan más complejas que en otros climas de la arquitectura, ya que significan solucionar el caso de invierno, crítico en cualquier clima frío temperado, pero sin empeorar el comportamiento del mismo edificio en verano, cuando algunas de las soluciones de invierno actúan nega-

tivamente sobre las condiciones térmicas interiores.

Para **invierno**, se deberá considerar en el proyecto los siguientes desenlaces:

1) "Forma general del edificio compacta", que evita entrantes y salientes que aumentan la superficie de pérdidas y favorece el desarrollo



de fachadas orientadas entre sureste y suroeste, en detrimento de las otras.

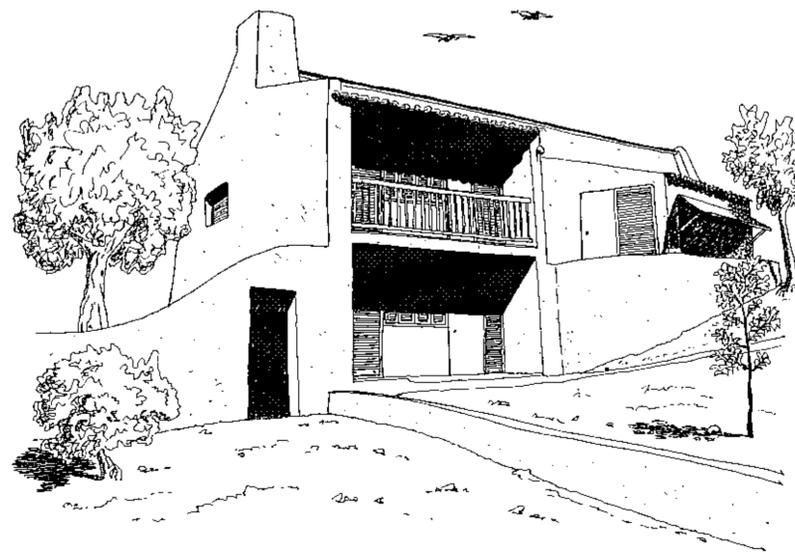
2) "Aislamiento de los cerramientos", reforzado en la orientación norte y la cubierta del edificio (10 cm de material aislante y vidrio doble con cámara en las aberturas) y, aunque en menor medida, aislar también los contactos con locales auxiliares y con el terreno.

3) "Cerramientos practicables" con estanquidad relativamente alta, pero en el caso de climas húmedos conservando posibilidades de ventilación que renueven el aire de los locales sin que la corriente incida sobre los ocupantes. En la disposición de las aberturas deben tenerse en cuenta los vientos fríos e intensos, procurando evitarlos, siendo en cam-

bio adecuadas las orientaciones hacia brisas suaves y frecuentes.

4) "Aislamientos móviles en ventanas", mediante contraventanas con material aislante en su composición o cortinas que creen barrera total al paso del aire.

Para el caso de **verano**, las soluciones adecuadas serán:



1) Asegurar una "salida de aire permanente" en la parte más alta de cada local y del edificio en su conjunto. Su sección de paso en metros cuadrados debería ser del orden del volumen a ventilar dividido por 40.

2) Asegurar una o varias "entradas de aire" por la parte inferior de los locales, a ser posible que provengan de zonas o espacios donde el aire esté en buenas condiciones de temperatura y humedad. Estas aberturas deberían tener una sección de paso total del orden de una vez y media las mencionadas en el apartado anterior.

3) Además, e independientemente de las soluciones anteriores, será conveniente prever "aberturas practicables" que comuniquen, al menos, con dos zonas exteriores en condiciones de temperatura y de viento

distintas. La sección de paso de dichas aberturas debería ser del orden del volumen del local dividido por 20, tanto para la entrada como para la salida del aire.

Cumpliendo estas soluciones queda asegurado, en condiciones normales, el funcionamiento de las estrategias de ventilación mencionadas con anterioridad (antihumedad, acción sobre el cuerpo y refrigeración nocturna). Sin embargo, las secciones de paso mencionadas pueden representar puntos débiles en el aislamiento de invierno, aunque las aberturas practicables estén cerradas. Por este motivo pueden reducirse dichas secciones a menos de la mitad de lo aconsejado, siempre que se favorezca la eficacia de los distintos tipos de ventilación con un diseño adecuado, una selección precisa de la situación de las aberturas y la colocación de dispositivos o sistemas especiales que favorezcan la circulación y, en su caso, el tratamiento del aire de ventilación, como veremos al tratar del "clima del viento y de la brisa".

Como resumen general, sea mediante el diseño arquitectónico en general, o utilizando alguno de los sistemas especiales tratados más adelante, el "clima del aire y la humedad" implica, tanto una buena aproximación arquitectónica, como un correcto uso de los edificios por parte de sus ocupantes, todo ello contemplando conjuntamente el caso de invierno y el de verano.

De este modo puede asegurarse un funcionamiento ambiental de la arquitectura muy superior a lo que comúnmente sucede; sin embargo, existen otros aspectos, que hasta aquí no hemos tratado y que interac-

túan en gran medida con el confort ambiental de los usuarios, en especial el "clima de la luz y el sol", que no deberá desconectarse nunca de lo que hemos tratado en este capítulo.

## El clima de la luz y del sol

La radiación electromagnética es, quizá, la principal de las energías presentes en nuestro entorno. Partículas inmateriales, los fotones, atraviesan el espacio a velocidades inaccesibles. Las pautas de comportamiento de estas radiaciones son las de la propagación de un movimiento ondulatorio, por lo tanto con una longitud de onda, que en este caso puede variar desde valores pequeñísimos hasta kilométricos.

De toda esta amplia gama de radiaciones, existe una muy pequeña franja, entre 380 y 760 nanómetros de longitud de onda, que son radiaciones perceptibles por el ojo humano. Estas radiaciones forman la luz y en ellas se basa una gran parte de la percepción humana y, con ello, del conocimiento que tenemos de nuestro entorno.

Pero esta importancia de la luz no debe hacernos olvidar que hay muchas otras radiaciones en el espacio que nos rodea. Todos los cuerpos emiten radiaciones y éstas son emitidas en mayor cantidad y a la vez con longitudes de onda más cortas, cuanto más alta es su temperatura. En estas condiciones, sólo cuando la temperatura superficial es muy alta, parte de estas radiaciones son visibles y tenemos luz.

La superficie del sol, muy caliente, emite precisamente una gran par-

te de su radiación en la franja visible del espectro. Esto no es casual, el sistema visual de los animales que pueblan la tierra se adaptó, lógicamente, a la radiación presente en mayor cantidad en su entorno y sus órganos de visión tienen la máxima sensibilidad donde más radiación hay. Por ello, la luz solar es la base más importante de nuestra percepción y la más cómoda para nuestra visión, cosa que, a menudo, parece que hemos olvidado.

Pero, al final, la luz no es más que una radiación en particular y las radiaciones son una forma de energía que atraviesa el espacio, yendo de uno a otro lugar de forma prácticamente instantánea.

Como todas las energías acaban siempre transformándose en energía térmica, las radiaciones se transforman en calor al ser absorbidas por las superficies. Por esto, al final, la luz es también calor, en la naturaleza o en la arquitectura. De ahí que iluminar un espacio significa calentarlo, tanto más cuanto más luz penetra en el mismo. De todas formas, antes de volver a considerar este aspecto térmico, vamos a analizar un poco más el lumínico.

Entre las diferentes fuentes de luz de que dispone el ser humano, la natural o del sol es la que ofrece uno de los más elevados rendimientos

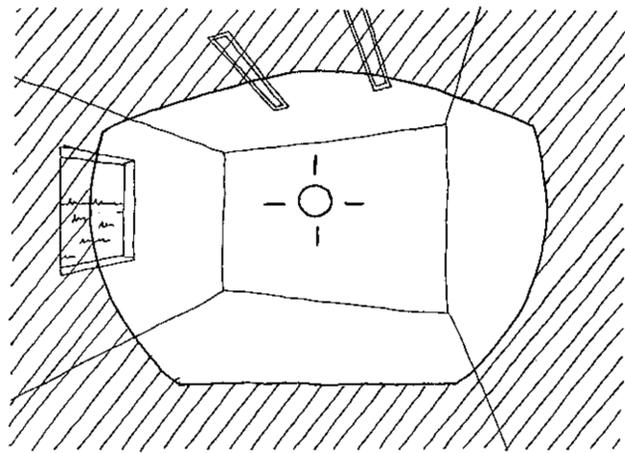
lumínicos. En otras palabras, iluminando con luz natural y para un determinado nivel de luz, la cantidad de calor resultante en el espacio iluminado es menor que la que resulta con los sistemas de alumbrado artificial. Además, si tenemos en cuenta que la luz solar reproduce los colores de la mejor forma posible, todavía resulta más absurdo que iluminemos artificialmente nuestros edificios durante el día.

Porque el alumbrado artificial, primero con gas y después eléctrico, nos permitió conquistar la noche, para el trabajo o para el recreo. Pero esta conquista nos llevó, infantilmente, a sobrevalorar las posibilidades de esta luz artificial y con ello a proyectar arquitecturas sólo habitables, de día y de noche, con la ayuda de este alumbrado. La moderna paradoja arquitectónica de edificios totalmente revestidos por vidrio y con el alumbrado artificial interior en funcionamiento durante todo el día, no es más que la consecuencia de esta ingenua fe en la artificialidad.

El clima de la luz y el sol es en gran parte un tema relacionado con la visibilidad. De los diferentes parámetros relacionados con el bienestar, los lumínicos se resumen, muchas veces de forma errónea, en un nivel o cantidad de luz (iluminación), pero lo que el ojo humano ve no son las cantidades de luz que llegan a las superficies, sino lo que éstas reflejan hacia el ojo (luminancias).

Aquello que resume la comodidad visual (y la percepción) con mayor fidelidad, es el concepto de visibilidad que depende de las relaciones entre las claridades (luminan-

cias) presentes en el campo visual y muy poco del valor absoluto de estas luminancias.



La visibilidad incluye los efectos de deslumbramiento, pero considera estos efectos un caso particular de un concepto más global; capacidad para ver con el mínimo esfuerzo aquello que el ser humano quiere observar. Este concepto se puede ejemplificar perfectamente con un caso concreto.

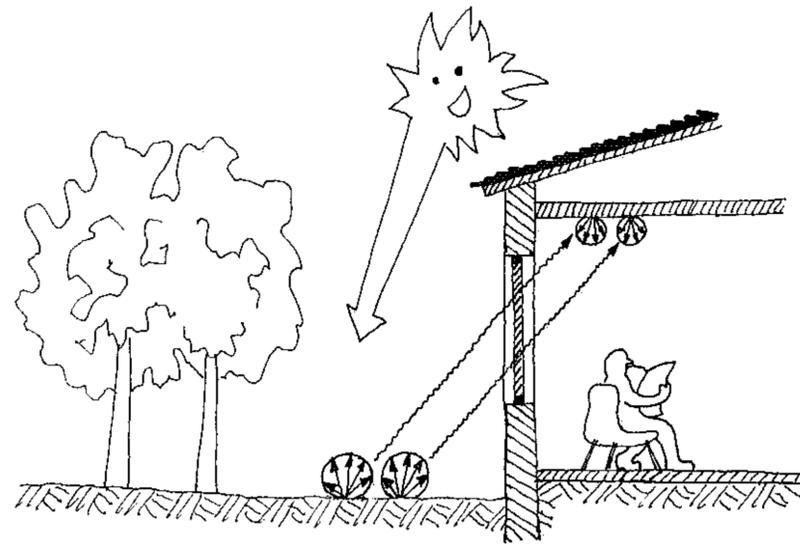
En los países mediterráneos donde el invierno es corto y los veranos se alargan, como en las costas y las islas atemperadas por las brisas, la arquitectura se viste de blanco, reflejando descaradamente toda la luz visible para evitar su calor. Pero, sorprendentemente, las ventanas quedan cubiertas con oscuras persianas, normalmente verdes, o marrones, que destacan sobre las blancas paredes de los edificios.

¿Es quizá la añoranza del color de la vegetación, perdido bajo el sol cruel? ¿Veleidad estética de una arquitectura tan escasa en recursos? O ¿quizá la técnica protectora de la madera, propia de los pescadores, se ha transferido a la arquitectura? En cualquier caso, el fenómeno nos sorprende, el color oscuro absorberá la radiación y la transformará en ma-

yor cantidad de calor presente en el aire y los interiores quedarán inutilizados por la falta de luz.

Detrás de estas consideraciones una vez más se esconde una sabia técnica de la arquitectura popular. Porque mediante la persiana mediterránea se consigue precisamente una adecuada visibilidad en el interior, reduciendo al mínimo imprescindible la cantidad de luz que penetra y por lo tanto también la cantidad de calor.

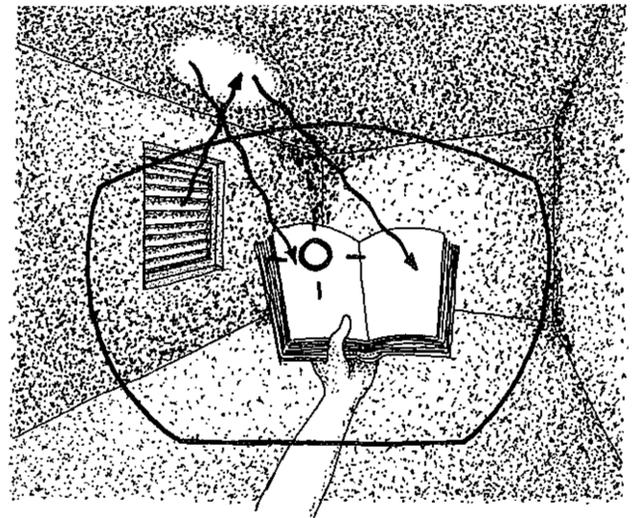
La única luz que entra en los locales es la reflejada por las superficies exteriores (normalmente son de color claro en estas condiciones) que, además, lo hace en una dirección



prácticamente única, la que le permiten las lamas de la persiana, que absorben la radiación que no siga esta dirección ascendente.

Como resultado los rayos van a incidir directamente sobre el cielo-raso del local, siempre de color blanco, y desde allí se reparte de forma difusa por dicho local. De esta forma, el interior resulta un espacio oscuro, con una mancha de luz clara en el techo, sobre la ventana, allí donde normalmente no está orientada la visión humana.

En consecuencia, en el campo de visión de los ocupantes del local no existe ninguna superficie de gran cla-

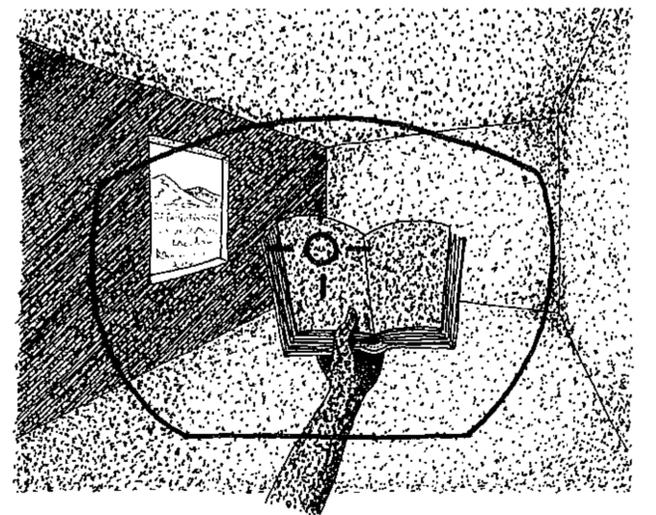


ridad, que obligue a la visión a reducir su sensibilidad. El color oscuro de la persiana reduce su claridad

vista desde el interior y las claridades más altas estarán sobre la mesa, el libro o el trabajo que realicemos, iluminado por la mancha de luz del techo, que queda fuera de nuestra visión principal.

Si cambiásemos las condiciones, abriendo la persiana, tendríamos mucha mayor cantidad

de luz en el espacio, pero la visión del exterior a través de la persiana, con las altísimas claridades de fuera,



conduciría a una visibilidad mucho peor. Secundariamente, en este caso tendríamos además una condición resultante de calor en el interior mucho mayor.

Por último, podemos decir que la luz en un espacio es, sobre todo, un problema de equilibrio entre las claridades del mismo. Si además consideramos como la direccionalidad de la luz que incide en los objetos (luz dirigida o luz difusa), produce sombras que acentúan o enmascaran su relieve, cosa que en último término también es un juego de claridades, obtendremos con ello la mayor parte del efecto visual en la arquitectura.

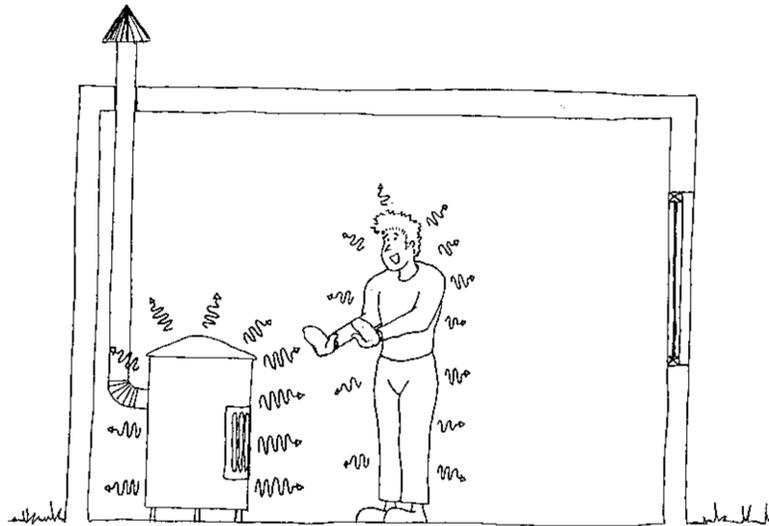
El resto del efecto de la luz nos lo da su color, el de la misma fuente de luz y el que resulta después de su reflexión en las superficies. Aunque la legibilidad del espacio dependa más del juego de claridades que de sus colores, la influencia consciente e inconsciente del color de la luz y de las superficies que la reflejan, tiene una importancia decisiva en el bienestar de sus usuarios.

Cuando consideramos el color es cuando más se acentúa la diferencia de calidad entre el alumbrado natural y el artificial. La entrada de radiación solar directa tiene un reparto espectral que culturalmente consideramos "perfecto" y los colores de los objetos, reflejados en esta luz, son los únicos que consideramos verdaderos. Esta cualidad de la luz natural, unida a la de su economía energética,

justifica cualquier esfuerzo de diseño arquitectónico que contribuya a que los edificios sólo utilicen dicha luz durante las horas diurnas.

Porque, además, existe una correlación demostrada entre tipo de luz y horas del ciclo día-noche, que influye sobre las reacciones humanas e incluso sobre su estado de salud. El organismo humano, preparado para unos ciclos luz-oscuridad determinados, se acopla con dificultad a estas condiciones artificiales de nuestra cultura, con excesos de luz en horas nocturnas y escasez y poca adecuación en las diurnas.

Pero el clima de la luz y el sol no termina con los efectos visuales y sería un error limitar el análisis únicamente a esta parte. Como decíamos al principio, las radiaciones son una forma de la energía que, como todas, acaba transformándose en calor. La parte más importante de la influencia del clima de la luz y el sol sobre el bienestar térmico, es consecuencia directa de este hecho.

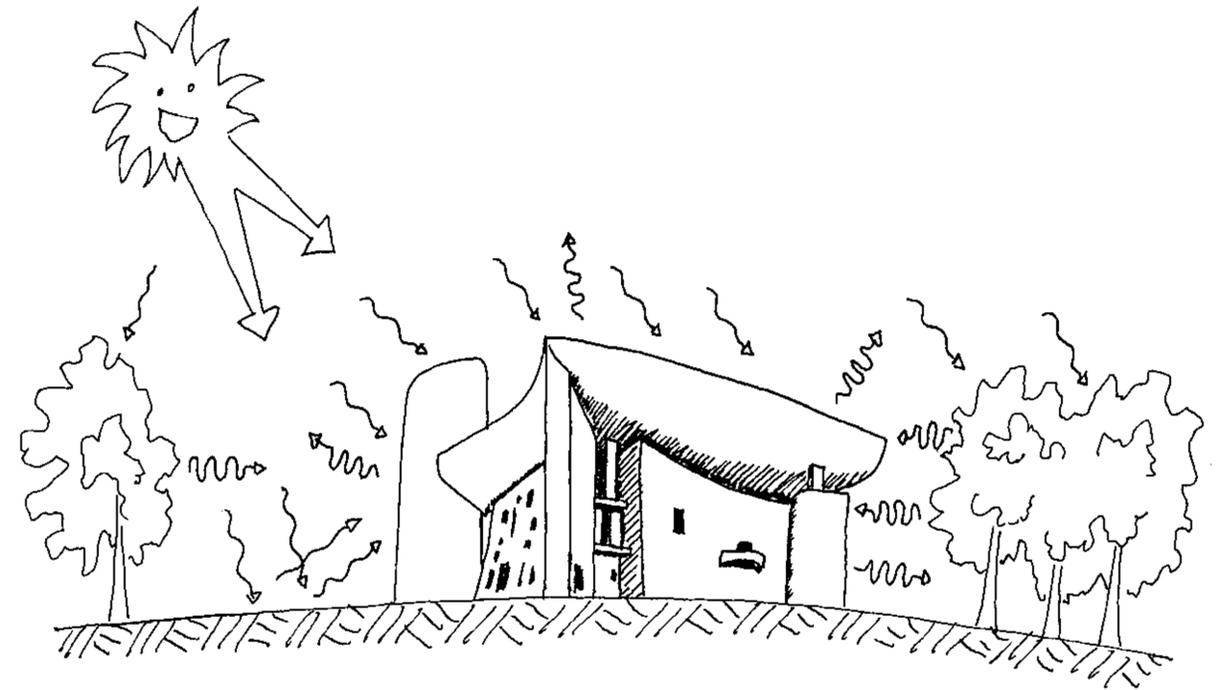


El bienestar térmico veíamos que se relacionaba con cuatro parámetros: temperatura del aire, radiación, humedad y movimiento del aire. De los cuatro, el único que no está rela-

cionado con el aire es la radiación, que depende del clima de la luz y el sol que estamos comentando.

La importancia de la radiación sobre la comodidad térmica es mucho mayor de lo que nuestros inseguros sentidos parecen explicarnos. Engañados por la materialidad del aire, a menudo le atribuimos la responsabilidad de sensaciones térmicas que en realidad provienen de efectos radiantes.

Casi la mitad de los intercambios de energía del cuerpo humano con el ambiente se realizan por radiación. La piel emite radiación y recibe la que emiten los cuerpos que la rodean. Del equilibrio entre emisión y recepción resulta una ganancia o pérdida neta de calor del cuerpo. Todo el proceso es independiente del contacto con el medio natural (el aire); el resultado es una sensación térmica, agradable o no según el equi-



librio resultante y que, con bajas velocidades del aire depende de este parámetro en un 50%.

Partiendo de este hecho, cualquier estudio del funcionamiento tér-

mico de la arquitectura debería comenzar por la radiación, y no por la temperatura del aire, como se hace normalmente. Para entender mejor el proceso, analicemos brevemente cómo se producen los fenómenos radiantes en los edificios.

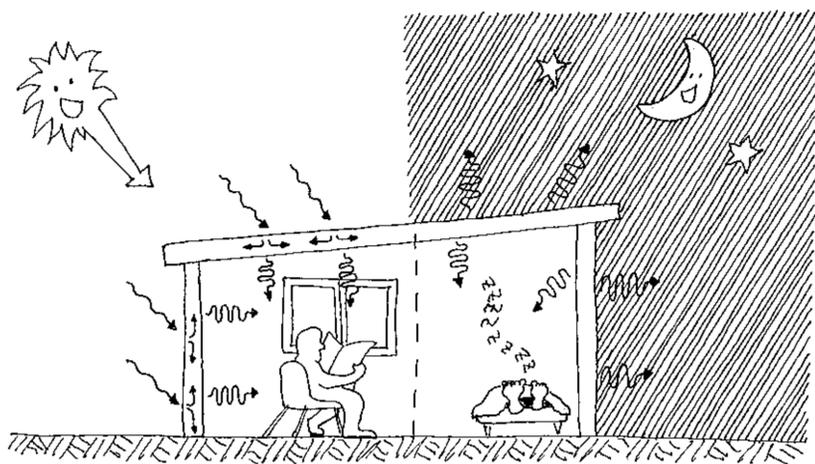
Sobre los cerramientos de cualquier edificio, constantemente están incidiendo radiaciones procedentes del entorno, a la vez que sus propias superficies emiten radiación. En el caso de que se den aportes directos de energía solar, sus valores superan en uno o dos órdenes de magnitud, y en cuanto a densidad energética, a los del resto de intercambios radiantes.

En estas circunstancias, parte de la radiación solar penetra directamente al interior por las aberturas y otra parte, absorbida en paredes y cubiertas, calienta estos elementos constructivos. La energía que se acumula en los cerramientos acaba pe-

netrando en gran parte en el interior, con un retardo y una amortiguación de sus valores que dependen, fundamentalmente, del peso (la inercia térmica) de estos cerramientos.

La repercusión en el ambiente interior se deriva de que la cara interior de los cerramientos, calentada según el proceso anterior, cede calor al aire interior, pero sobre todo se convierten en superficies radiantes que influyen directamente en el bienestar térmico de los ocupantes del espacio. Sin embargo, a la vez, los mismos cerramientos pueden enfriarse en su cara exterior, por emisión de radiación o contacto con el aire en horas nocturnas o en tiempo frío. El resultado es una temperatura radiante hacia el interior, que influye en la comodidad, con una importancia mucho mayor de lo que se cree normalmente.

En última instancia, el estado energético de un ambiente depende básicamente de la radiación que penetra: directamente por las aberturas o indirectamente por los cerramientos opacos en forma de calor.



Así se crea un entorno radiante, del que la temperatura del aire es un subproducto y en el que las personas experimentan sus sensaciones térmicas.

En situación de frío, **en invierno**, cualquier aporte de energía es conveniente. Pero en general esta situación coincide con bajos niveles

de radiación exterior, donde sólo el aporte directo de energía solar que penetra por las aberturas, permite calentar un interior en el que se debe evitar la pérdida de calor, aislando los cerramientos opacos y colocando elementos transparentes en las aberturas, lo que permite la entrada del sol y evita la pérdida del aire caliente interior.

En realidad, esta situación es relativamente sencilla. Sólo es preciso orientar las aberturas hacia el sol de invierno (entre sureste y suroeste) y aislar convenientemente el aire interior respecto del exterior. En los casos más extremos puede ser conveniente reforzar la captación de energía, convirtiendo alguna de las superficies opacas orientadas hacia el sur en captora, simplemente pintándola de oscuro y revistiéndola de un elemento transparente que, al permitir el acceso del sol, dificulte su enfriamiento por contacto con el aire exterior o por radiación propia.

Con estas estrategias aplicadas de una manera coherente, es relativamente simple solucionar, o al menos mejorar, la situación en caso de tiempo frío.

Otra cosa será la situación de calor, en **verano**,

en la que los fenómenos son más complejos y, aunque las consecuencias sean menos críticas, la solución arquitectónica es más difícil.

En dicha situación de calor la circunstancia de más gravedad es la penetración de radiación solar directa, que procederá básicamente de las direcciones este, oeste y cenital.

Pero, además, lo que no se considera normal es que, aunque el sol no incida de forma directa, en los edificios pueden penetrar importantes cantidades de energía radiante y su prevención es también obligada si queremos evitar sobrecalentamientos interiores.

El sol reflejado en el exterior, en otros edificios o en terrenos claros, es otro importante aporte de energía cuando penetra por aberturas sin incidencia de radiación solar directa. En este caso, las aberturas hacia el norte o las que se orientan al sur protegidas por un alero, pueden significar fuertes calentamientos no previstos.

Siempre, se trate de aporte directo o reflejado, la entrada de energía está asociada, y es proporcional, a la entrada de luz. Por ello existe una táctica fácil de utilizar en tiempo cálido, oscurecer las estancias durante el día, que será muy adecuada, tanto si se trata de un clima seco como húmedo.

Más insidiosa resulta la entrada de radiación reemitida, que ocurre cuando las superficies, calentadas previamente por el sol, emiten su propia radiación. En este caso se trata de radiación no visible, no denunciada su presencia por la luz, pero que también puede representar importantes calentamientos en los interiores que la reciben. Además, como comentamos, esta reemisión puede ser el resultado del calentamiento por la acción solar de los propios cerramientos opacos del edificio, que se viene a sumar a la radiación reemitida por superficies del exterior y que penetran a través de las aberturas.

Para solucionar el problema, la táctica del oscurecimiento ya no es suficiente y, si queremos evitar sus perniciosos efectos, será preciso utilizar recursos más sofisticados y menos aparentes para evitar problemas.

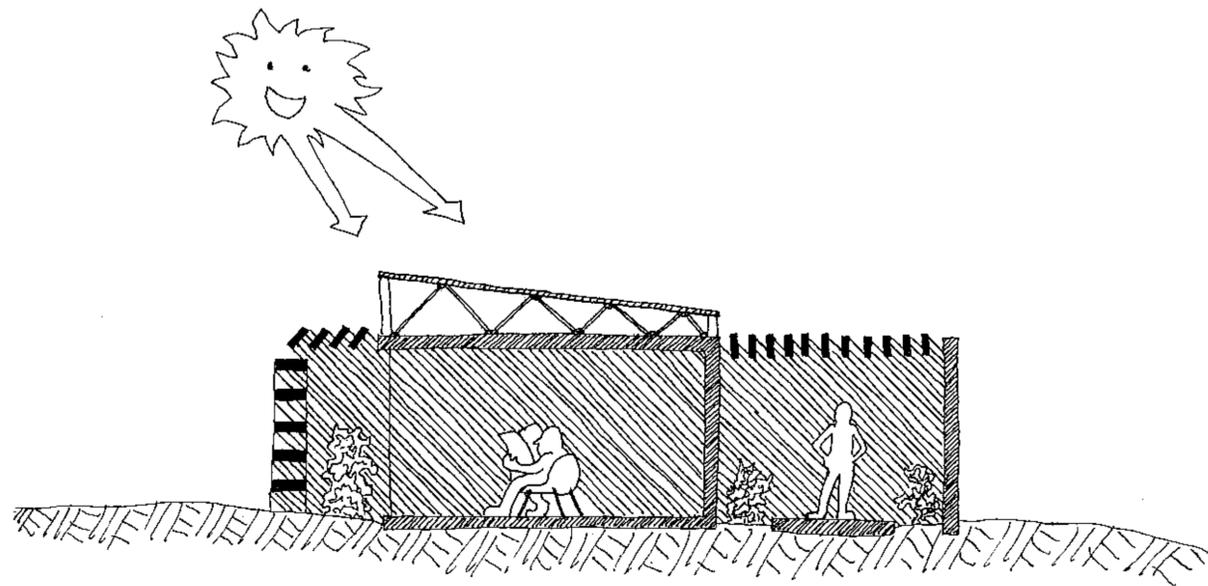
Evitar en tiempo cálido el sobrecalentamiento por radiación comporta una estrategia global la cual debe desarrollarse en el proyecto de arquitectura y que es resumible en tres etapas y una regla general:

Como *primera etapa*, evitar al máximo la incidencia de la radiación solar directa sobre el edificio y la entrada de la misma en los espacios interiores. Esto puede conseguirse con barreras vegetales al este y al oeste, orientando el edificio al sur y al norte, evitando aberturas a levante, poniente o cenitales, protegiendo con aleros o voladizos la fachada al sur y colocando persianas en las aberturas donde incide el sol.

Como *segunda etapa* y solventada la etapa anterior, debe evitarse la entrada de radiación reflejada, que puede provenir de cualquier dirección. Para ello es necesario prever sistemas de oscurecimiento en todas las aberturas, procurando que permitan en su caso la ventilación y una entrada de luz que sea fácilmente controlable (ver nuestro comentario para el caso de la persiana mediterránea).

Como *tercera etapa*, y última, resueltas las dos anteriores, reducir al máximo la penetración al interior de radiaciones reemitidas de cualquier tipo. Para ello, además de situar protecciones en las aberturas para que cumplan también esta finalidad, se debe proteger con cámaras de aire y

con acabados exteriores claros las masas construidas del cerramiento del edificio, paredes y cubiertas. Es especialmente crítica en este caso la penetración de calor por la cubierta, que sólo puede evitarse eficientemente creando una cámara ventilada que impida el calentamiento de dicha cubierta.



Por último, la regla general, aplicable a todas las etapas y a cualquier tipo de edificio en tiempo cálido, es la de detener la radiación "lo antes posible". Si la barrera es un árbol resultará mejor que una enredadera; si existe una doble piel con cámara ventilada será mejor que encalar la superficie, pero una superficie blanca será más útil que un aislamiento interior, mejor una persiana exterior que una interior, etc. Si se cumple a rajatabla esta regla, las condiciones

térmicas de los interiores en verano experimentan una acusada mejora.

En resumen, el clima de la luz y el sol en la arquitectura es el clima de la luz y de la sensación térmica. Se trata de un clima de difícil evaluación, que engaña la mayoría de veces respecto a las causas de nuestras sensaciones.

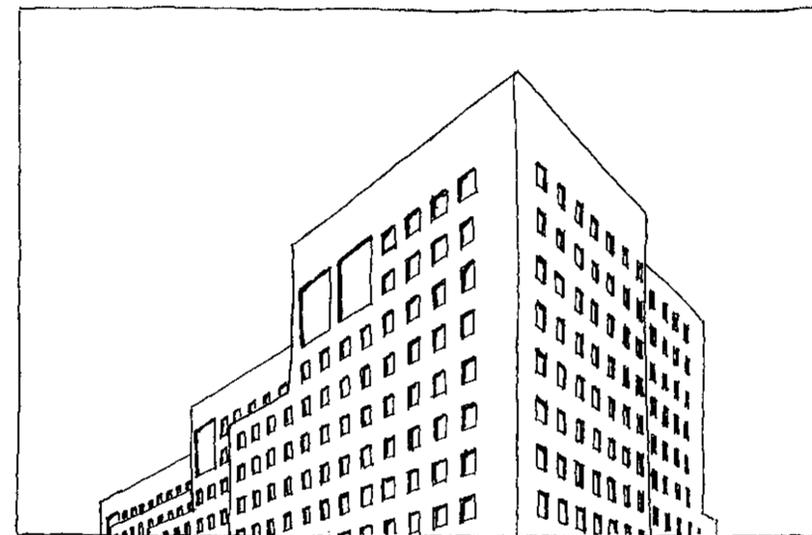
Las soluciones son, la mayoría de las veces, relativamente complejas, y obligan a diseñar la arquitectura, teniendo siempre presentes las etapas y las reglas anteriores, ya que no funcionan casi nunca las soluciones añadidas posteriormente. Estos "sistemas especiales" utilizados en los edificios para solucionar problemas de diseño básico, no son más que muletas, ortopedia para una arquitectura que ya está equivocada en su concepto.

## El clima de las paredes

Cuando imaginamos convencionalmente un edificio, quizá son sus paredes lo que en mayor medida identificamos con su forma, e incluso con su funcionamiento. Aunque en un análisis riguroso deberían ser sus cubiertas las que asumieran el verdadero protagonismo de la formación del espacio interior, en nuestra visión sesgada de usuario, e incluso en la más especializada de los arquitectos, damos la máxima importancia a estas paredes que tan aparentes son a nuestra vista. Incluso cuando en ellas existen aberturas, las entendemos mejor como huecos vacíos en estas superfi-

nidades, la separación interior-exterior y sustituye sus paredes opacas por paramentos totalmente vidriados, en realidad está introduciendo la desmitificación de una larga tradición constructiva que, lógicamente, produce en usuarios y observadores cierta tensión. Pero esta respuesta de tipo psicológico no es la única y existen, como veremos, repercusiones de orden funcional quizá más importantes y entre ellas destacan las de tipo ambiental.

Porque las paredes no sólo son imagen o soporte estructural, en ellas y con ellas se actúa de forma decisoria sobre el ambiente interior de los



edificios, hasta el punto de que podemos hablar del "clima de las paredes", entendiendo por "paredes", en sentido amplio, a todos los cerramientos opacos que separan el espacio interior del exterior.

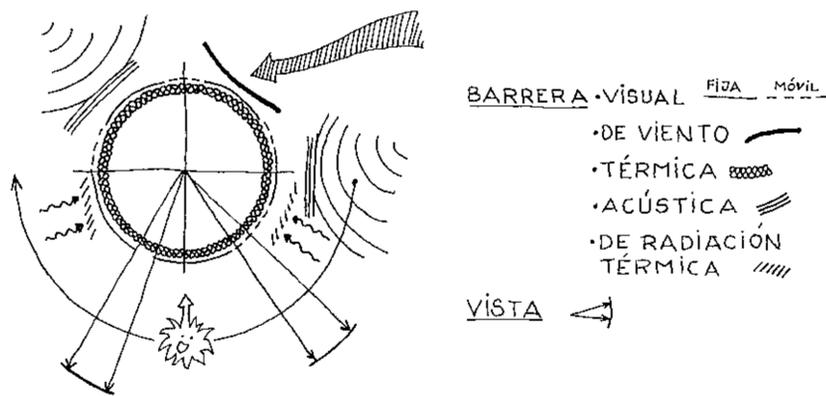
Conceptualmente, las paredes son barrera, separación entre un ambiente controlado y

otro que no lo está. De esta forma, si se entiende la arquitectura como abrigo o protección de agresiones del mundo exterior, la denominación de barrera para los elementos o componentes que cumplen este papel será

otro que no lo está. De esta forma, si se entiende la arquitectura como abrigo o protección de agresiones del mundo exterior, la denominación de barrera para los elementos o componentes que cumplen este papel será

la que mejor definirán esta forma de ver la arquitectura.

Ahora bien, cuando se piensa en una barrera, se asume una separación total, perfecta, cosa que nunca se cumple por entero con la paredes que construimos. Para ciertos agentes exteriores, como es el caso de



la radiación visible (la luz) y el del viento (el aire), esta acción de barrera es perfecta o casi perfecta. En cambio, otros agentes, como el calor, el sonido o la humedad, no son del todo detenidos por las paredes, aunque conceptualmente así lo deseáran, casi siempre, el arquitecto y el usuario.

Por otro lado, el efecto de barrera debe contemplarse en ambos sentidos y por ello conviene analizar no sólo los efectos que entran, sino también los que salen. A veces interesa una barrera respecto a un agente exterior, como es el caso del agua, pero a la vez convendría que pudiera salir la misma materia, en este caso, la humedad del aire interior. De este tipo de contradicciones nace, precisamente, la sutil variedad de la acción de las paredes y de sus efectos sobre el ambiente.

Pero además, las paredes interactúan con el ambiente, no sólo deteniendo o dejando pasar las energías en él presentes, sino también influ-

yendo ellas mismas sobre las cualidades de este ambiente. Al reflejarse la luz y al rebotar el sonido, el espacio interior cambia sus características y, por ello, un acabado interior de uno u otro tipo (color, textura, porosidad, etc.), puede a veces influir más sobre el ambiente resultante que las dimensiones o la forma del espacio.

Por último, si nos centramos en el tema climático, entendido como comportamiento térmico de la arquitectura, las paredes tienen un papel importantísimo sobre las condiciones interiores, porque no sólo actúan de barrera al paso del calor, sino porque, además, son capaces de acumular energía térmica y este efecto puede ser decisivo sobre las condiciones de habitabilidad de un edificio.

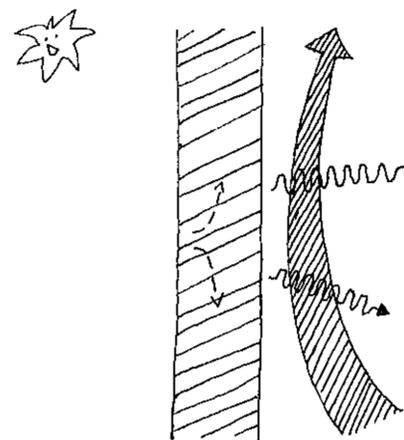
Al ser los motivos expresados los que convierten el clima de las paredes en característica fundamental de la arquitectura, a continuación, con mayor detalle, comentaremos la acción de este clima sobre los espacios interiores.

**Las paredes y la radiación** son, quizás, el primer tema a abordar dada su doble influencia, térmica y lumínica, y la importancia del tema radiante que ya hemos tratado en capítulos anteriores. Las paredes, como hemos visto, son obstáculos a la radiación en general y barreras a la luz. En realidad, el proceso de funcionamiento puede analizarse de la forma siguiente:

Los cerramientos del edificio reciben la radiación solar incidente, sea

directa, difusa o reflejada. De esta radiación, y según el acabado superficial de la pared, una parte es reflejada y otra absorbida, sin que pueda considerarse, a nuestros efectos, que exista ninguna parte transmitida directamente hacia el interior. Según este análisis, no existe penetración directa de radiación a través de las paredes y, por lo tanto, tampoco penetración de luz.

La parte absorbida de la radiación (más reducida cuanto más claro sea el color del cerramiento), se transforma en energía térmica que calienta la pared. Ésta transmite parte del calor hacia el interior, donde lo cede calentando directamente el aire y, además, emitiendo radiación (no luz) hacia el interior (reemisión). En este sentido consideramos que, aunque la pared se comporte como barrera casi total a la radiación, no lo es respecto a la energía



térmica que esta radiación comporta, lo que puede resultar especialmente crítico para el funcionamiento de verano.

Aparte de su comportamiento respecto a la radiación solar que reciben, los cerramientos opacos de los edificios también están involucrados en otros fenómenos radiantes. Como cualquier superficie por

encima del cero absoluto de temperatura, emiten radiación de onda larga, que se contrapone a la radiación que reciben desde el entorno.

Normalmente estos intercambios son poco significativos, pero cuando el entorno está muy frío y, por lo tanto, envía muy poca radiación hacia la pared, ésta se enfría de forma notable. Éste es el caso de las condiciones nocturnas en climas secos, donde el cielo oscuro envía poquísima radiación a cambio de la que recibe de los edificios y, por ello, las superficies expuestas llegan a enfriarse muy por debajo de las temperaturas del aire.

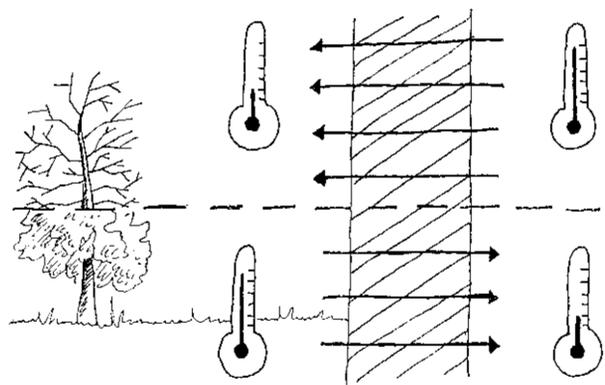
El resultado final de los procesos radiantes sobre las paredes es que éstas se convierten en almacenes energéticos de dichos procesos, repercutiendo en su estado térmico estas pérdidas y ganancias a lo largo del tiempo y, como consecuencia, en las condiciones ambientales interiores.

**Las paredes y el calor** sería el segundo tema a tratar, que en parte es consecuencia del anterior, ya que la radiación, como hemos visto, acaba reflejándose en el estado térmico del muro. Pero además de este efecto de la radiación, simultáneamente y en paralelo con él, existe el de la transmisión de calor entre el aire interior y el exterior.

Aunque uno y otro efectos se superponen, resulta físicamente correcto tratarlos con total independencia y compensar luego sus resultados, cosa que además tiene sentido desde el punto de vista del proyecto arquitectónico.

En la transmisión del calor aire-aire a través de las paredes, se acostumbra considerar un caso teórico

uniforme e infinito, donde el calor pasa de uno a otro ambiente en sentido perpendicular al cerramiento y en forma de un flujo constante de energía, que corresponde con condiciones estables del aire interior y exterior:



Con este planteamiento, la acción crítica de la pared viene dada por su aislamiento que, como sabemos, será tanto más grande cuanto mayor sea el grueso de material aislante que esté incluido entre sus capas (aislante: material ligero que mantiene burbujas de aire inmovilizadas, que aíslan el paso del calor).

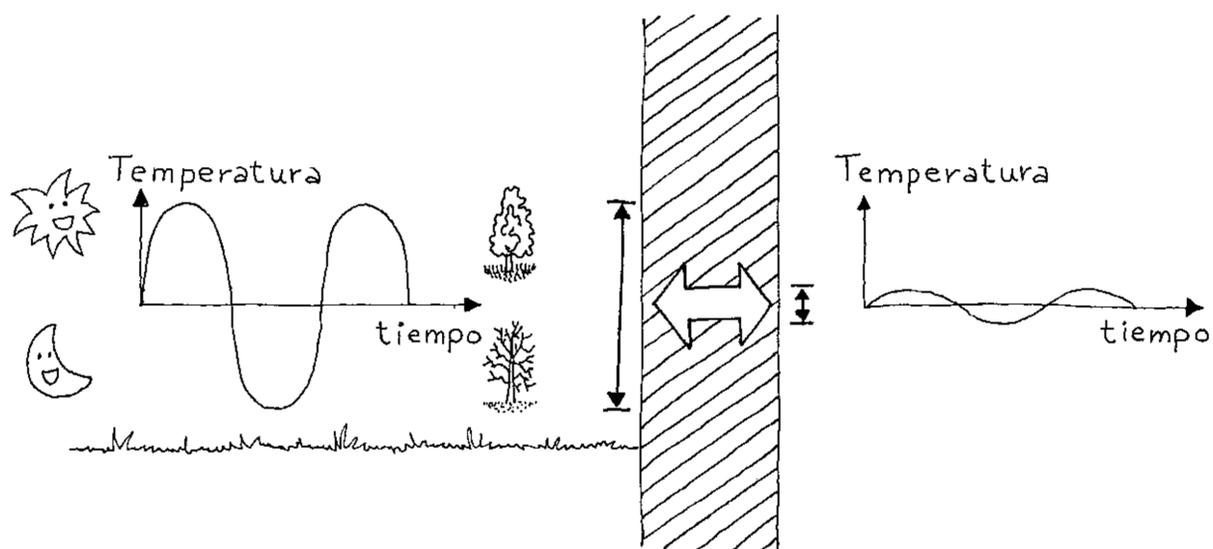
Pero en la práctica, la realidad es muy distinta. Las paredes no son infinitas y presentan accidentes, aber-

temperaturas cambian con el tiempo, en especial las exteriores. En estas circunstancias cobra singular importancia la capacidad acumuladora de calor de la propia pared.

La transmisión de calor a través de la pared en condiciones variables queda afectada por la inercia de la propia pared, que es función directa de su peso. La inercia amortigua en el tiempo los efectos de los cambios en la temperatura, dando lugar a flujos de energía más regulares de lo que se produciría en un cerramiento sin inercia y reduciendo la oscilación de temperaturas en la cara interior respecto a la que actúa sobre la cara exterior de la pared.

Como, en la práctica, las temperaturas exteriores suelen oscilar en tres ciclos diferentes (el día-noche, el de días sucesivos con cambio de clima, y el anual), conviene ver la repercusión de esta inercia de las paredes sobre dichos cambios.

Los efectos son poco apreciables en el **ciclo anual**, ya que el retraso que pueden producir las paredes en



turas y otras irregularidades que alteran los flujos de calor y, sobre todo, las condiciones no son estables a ambos lados de la pared, donde las

el paso del calor, hace como mucho que los máximos períodos, fríos o cálidos, se noten en el interior unas horas o días más tarde, siendo estas

variaciones poco relevantes en el curso de un año.

En el **ciclo de días sucesivos**, la inercia de las paredes cobra bastante importancia. Los retrasos de horas o días y la amortiguación en la oscilación de las temperaturas de varios grados de temperatura, son suficientes como para que los interiores así protegidos tengan condiciones térmicas mucho más estables (o sea en general más favorables) que el exterior.

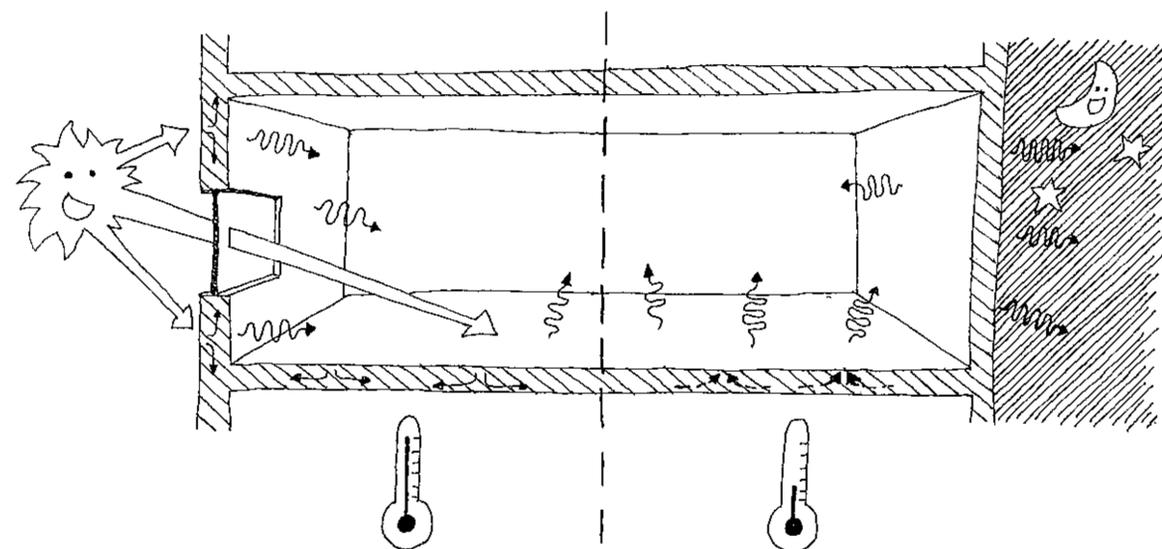
Por último, en el **ciclo día-noche**, la inercia es decisiva, representando los retrasos (mayores de 6 h en paredes normales) y la amortiguación (reductora hasta menos del 10%) un efecto crucial sobre la respuesta térmica interior. En la práctica, estas inercias de los cerramientos son relativamente fáciles de conseguir, los resultados hacen que en su interior no se noten las oscilaciones exteriores diarias.

Pero los efectos de la inercia de las paredes no terminan aquí. Superpuesto con el que tienen sobre la

ayudados por los elementos constructivos interiores (paredes, tabiques, forjados, etc.) y por el propio mobiliario u otros materiales contenidos en el interior del edificio. Siempre en función directa de su peso, todos los materiales situados en un interior se cargan de energía térmica cuando sube la temperatura, cediendo el calor acumulado cuando la temperatura baja, contribuyendo a estabilizar la temperatura interior.

Entre los materiales pesados de un interior, el agua, que puede estar contenida en cualquier tipo de recipiente, presenta especial interés. Al tratarse de un material con capacidad calorífica cinco veces superior a la de los materiales normales de construcción, para un mismo volumen, y así, aunque pesa la mitad que otros materiales, resulta el mejor acumulador posible de calor para un interior.

Resumiendo la relación entre las paredes y el comportamiento radiante y térmico, en términos generales,



transmisión del calor, existe el de su **acción directa en el interior** como captoras y cesoras de dicho calor. En este caso, los cerramientos son

la construcción pesada es favorable como amortiguadora de las variaciones climáticas exteriores. Por eso, en todo tipo de climas, excepto en

los cálidos-húmedos, es aconsejable que los edificios dispongan de elementos constructivos pesados y con más motivo si son edificios de ocupación permanente.

El único inconveniente podría ser el mayor costo constructivo de estos tipos de arquitectura, en especial por su repercusión acusada en el dimensionado de los componentes resistentes de la estructura del edificio.

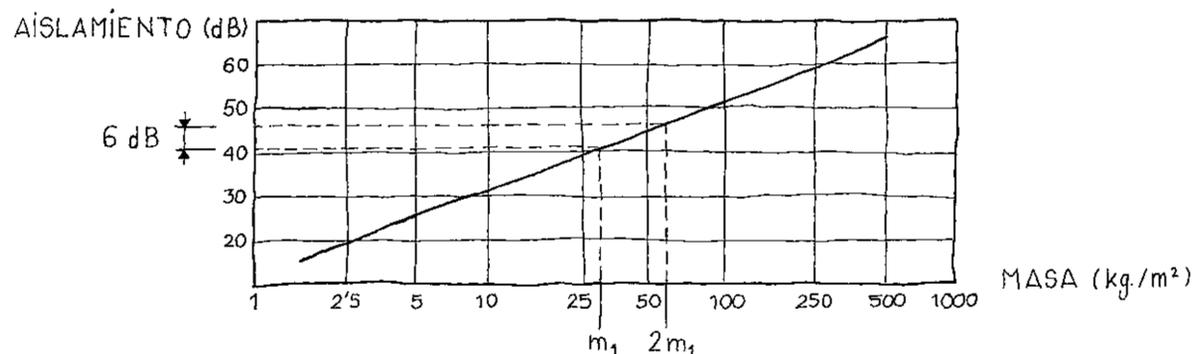
Pero aún queda un tercer tema a tratar, **las paredes y el sonido**, que puede reafirmar la conveniencia de los cerramientos y separaciones pesados en la arquitectura. Como es sabido y desarrollaremos más adelante en "el clima del silencio", los problemas acústicos básicos en nuestra sociedad moderna son los causados por la penetración incontrolada de sonidos no deseados (ruidos) en los ambientes habitados.

En esta entrada de ruidos, sean procedentes del exterior o de locales vecinos, los cerramientos de separación desempeñan un papel muy fundamental. Además, resulta que el aislamiento acústico de un panel separador (pared, forjado, etc.) es fun-

en la separación, cuanto mayor sea su masa en kilogramos por metro cuadrado, mejor será su aislamiento acústico. Este principio será importante para mejorar las separaciones ligeras, donde un incremento de aislamiento de 6 dB será notable; pero en el caso de paredes que ya tienen cierto peso, el coste elevado de doblar éste no estará justificado por la (relativamente) escasa ganancia de 6 dB.

Por ello, para aislar ruidos incidentes intensos (mayores de 80 dB) o para conseguir niveles de ruido interior muy bajos (menores de 20 dB), el aumento de peso será insuficiente y será preciso acudir a soluciones más sofisticadas (dobles paredes independizadas y con cámara separadora absorbente).

En cualquier caso, el peso es positivo acústicamente y, en contra de una creencia erróneamente difundida, los materiales absorbentes del sonido (porosos y ligeros) no sirven como aislantes, salvo para mejorar las cámaras de aire. Igualmente, hay que insistir en que, en una separación acústica dada, el ruido pasa por el sector más débil, por lo que no



ción casi directa de su peso, creciendo este aislamiento en unos seis decibelios cada vez que se dobla dicho valor.

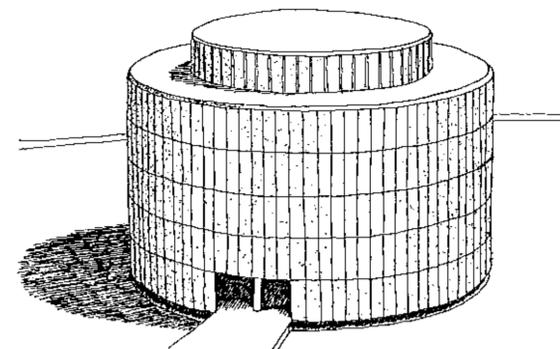
Según estas premisas y suponiendo que no existan discontinuidades

sirve para nada mejorar una pared si, contenida en ella, existe una ventana por donde pasa el ruido.

Resulta, por lo tanto, que normalmente las paredes son útiles en la

arquitectura y mejorarán su funcionamiento térmico y acústico. A pesar de ello, un logro perseguido duramente por la arquitectura del siglo XX, ha sido el de la **arquitectura sin paredes**. Las técnicas estructurales primeramente, que permiten independizar el sostén de un edificio de su cerramiento, y después las técnicas de trabajo con nuevos materiales, permiten una arquitectura en la que los cerramientos pesados prácticamente podemos decir que han desaparecido.

Podría pensarse en un motivo económico como razón de ser de estos edificios revestidos de vidrio, pero sucede que, aún hoy, resultan más costosos que los de cerramientos convencionales, cerámicos o de bloques. Es evidente, por otro lado, que



hay una motivación estética muy fuerte detrás de estas formas arquitectónicas. La estética geométrica del vidrio, su pureza y frialdad, es un factor, inconsciente muchas veces, que conduce al arquitecto y al promotor a desear este tipo de arquitectura, paradigma de la modernidad.

Pero todavía existe otra razón oculta detrás de la moderna pretensión de la arquitectura sin paredes, que es la de la comunicación del interior con el exterior o, mejor dicho, cierta necesidad de eliminar la separación con la naturaleza. Obviamente,

esto sucede a nivel psicológico colectivo, en una sociedad que domina el entorno natural, éste ya no resulta desagradable e, incluso, lo idealizamos y lo convertimos en paisaje, cuanto más amplio y conectado a nosotros, mejor.

Así se explica el ansia latente de ampliar ventanas, para tener más "vista", como explica el deseo formal que, desde los inicios del siglo, llevó a los arquitectos hacia la estética diamantina del vidrio. Material que existe sólo en el reflejo, niega la realidad misma que refleja; no envejece, o sea no acusa el sucio contacto con el tiempo y, sobre todo, permite unir ilusoriamente el espacio interior con el paisaje al que se enfrenta, paisajes sin marco para un interior que se centrifuga constantemente hacia este paisaje.

Los ambiciosos arquitectos modernos son aprendices de la alquimia de los constructores de catedrales que supieron convertir las paredes en luz divina, pero hoy, en su empeño han conseguido que estas paredes desaparezcan; desde fuera convertidas en las imágenes que reflejan y, desde dentro, sustituidas por el paisaje que no es arquitectura.

Pero en último término, la arquitectura moderna del vidrio es la arquitectura del poder, como lo fueron hace ocho siglos las catedrales. Una vez más el símbolo es más importante que el resultado y eso explica ciertas paradojas en su funcionamiento:

a) La arquitectura sin paredes necesita tener encendida la **luz artificial durante el día**. La luz, a partir de valores relativamente bajos, no es un problema de cantidad sino

de reparto. Así resulta que en estos edificios las condiciones lumínicas son deficientes, lo que se agrava con el uso de vidrios especiales que rechazan y filtran la radiación (térmicamente considerada), pero que siempre pierden más luz que calor en el filtraje.

b) La arquitectura sin paredes favorece el contacto visual con el exterior, mas paradójicamente **encierra a los usuarios** con paramentos fijos que no se pueden abrir para ventilar, ni sacar la mano o la cabeza al exterior. Esta arquitectura, artificialmente acondicionada desde un punto de vista térmico, no permite que sus ocupantes alcancen a nivel físico el tentador exterior que se les muestra una y otra vez.

c) El **acondicionamiento artificial**, teórica garantía de comodidad interior, en la práctica no puede resolver los problemas que el mismo concepto de la arquitectura sin paredes comporta. Los cerramientos ligeros de vidrio no tienen inercia y cualquier variación del contenido de

energía térmica en el interior se traduce en acusadas oscilaciones de temperatura, que el acondicionamiento de aire no llega a resolver. Además, todo esto está unido a los aportes desiguales de radiación que el vidrio no llega nunca a filtrar suficientemente. Muchas veces se ignora que con cargas térmicas excesivas, el sistema de acondicionamiento de aire resulta siempre insuficiente, pues debería insuflar aire demasiado frío o demasiado caliente para ser útil, o debería mover un volumen de aire tan alto (mayor de 20 volúmenes por hora), que el viento creado sería, por sí solo, desagradable.

El resultado de todo esto es, en el camino hacia un nuevo siglo, nostalgia de las paredes y de su clima, de las sabias proporciones entre macizo y hueco de arquitecturas pretéritas, capaces además de adaptarse sutilmente a todas las variaciones climáticas. Como última contradicción, orgullo, al fin, de lo que sabemos y alegremente despreciamos.

## El clima del viento y de la brisa

Aunque al tratar sobre "El clima del aire y de la humedad" ya se han comentado los efectos sobre la comodidad y las estrategias generales ligadas con la ventilación y el movimiento del aire en el interior de los edificios, para evaluar totalmente la importancia que tiene este movimiento del aire sobre el diseño arquitectónico, se debe completar lo anterior con algunas explicaciones sobre la relación entre el viento y la arquitectura.

Porque, como hemos visto, la acción del viento sobre los edificios tiene repercusiones directas e indirectas acerca de las condiciones del ambiente interior. Por una parte, el viento influye en el microclima que envuelve a las construcciones; por otra, actúa en los cerramientos de los edificios incrementando las pérdidas de calor hacia el exterior de las superficies sobre las que incide y, por último, penetrando por aberturas y rendijas, genera movimientos y renovación del aire interior. Con todo, no sólo cambian las condiciones del interior, sino que también afecta directamente al bienestar térmico de los ocupantes, que notan en sus cuerpos los efectos del aire en movimiento.

El origen de la presencia del viento es, una vez más, la radiación solar. El calentamiento no uniforme de las

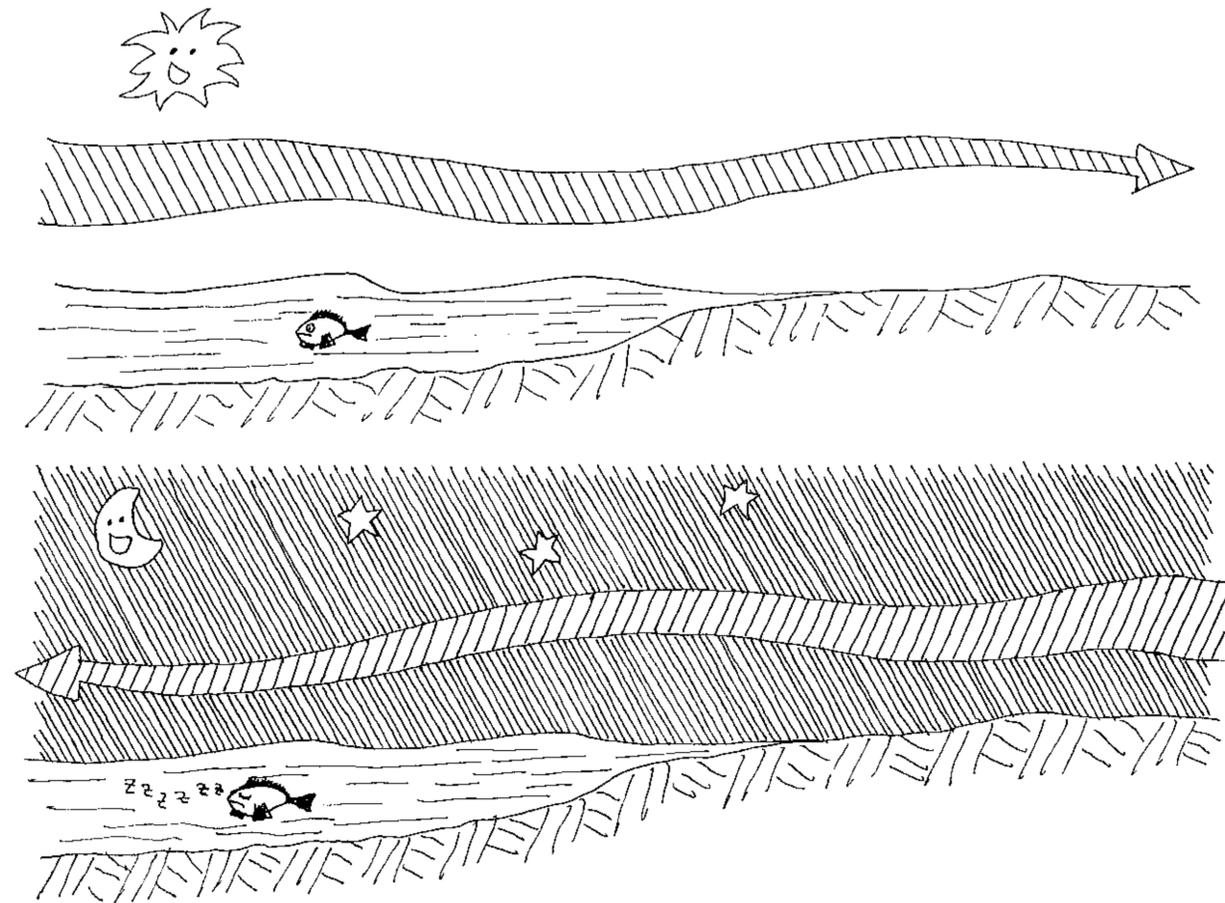
superficies del planeta bajo la acción del sol unido a su rotación, establecen las pautas de los vientos que se generan a gran escala en nuestro globo. Sin embargo, a escala más reducida, las circunstancias geográficas y topográficas son las que determinan los vientos presentes en un microclima concreto. De esta forma, en cada lugar de la geografía existe un régimen de vientos irregular, con lo que es muy difícil prever las condiciones posibles de intensidad y dirección del viento en un momento determinado.

A pesar de ello, sí que existen factores propios de cada lugar que nos informan sobre la probabilidad, mayor o menor, de que aparezca un viento en concreto. Así, sabemos que en las zonas próximas a la costa, se origina un régimen de brisas (mar-tierra de día y tierra-mar de noche), perpendiculares a dicha costa, debido a la diferente capacidad térmica del agua y la tierra.

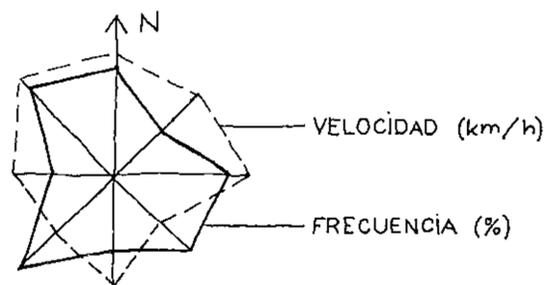
Igualmente, en zonas montañosas y junto a bosques o ciudades, puede suponerse cuáles serán los tipos de vientos más frecuentes, sea teniendo en cuenta cómo se generan brisas en estas zonas limítrofes, donde el bosque siempre tiene más inercia que el campo en general y éste más que las zonas urbanizadas, o considerando cómo las barreras fijas

del relieve, del arbolado o de los edificios, desvían los vientos dominantes de la zona.

Las características del viento en una zona determinada quedan recogidas de forma gráfica en las conocidas "rosas de los vientos" que nos resumen, para cada mes o estación



del año, la dirección de la incidencia de los vientos con su frecuencia e intensidad.



A partir de aquí, conociendo los registros meteorológicos de los vientos en una determinada zona según la época del año y modificándolos aproximadamente para nuestro em-

plazamiento, de acuerdo con la topografía y otras características del entorno, se puede comenzar la actuación de diseño para conseguir mejorar su acción sobre la arquitectura.

Dicha actuación representará, por un lado, proteger en el caso de frío los edificios de los vientos mo-

lestos e impedir la generación de corrientes de aire indeseables dentro de los locales; pero por otro lado, en el caso de calor, será necesario favorecer el paso de las brisas sobre los edificios y permitir la adecuada ventilación interior de los mismos con las presiones y depresiones que origina el viento.

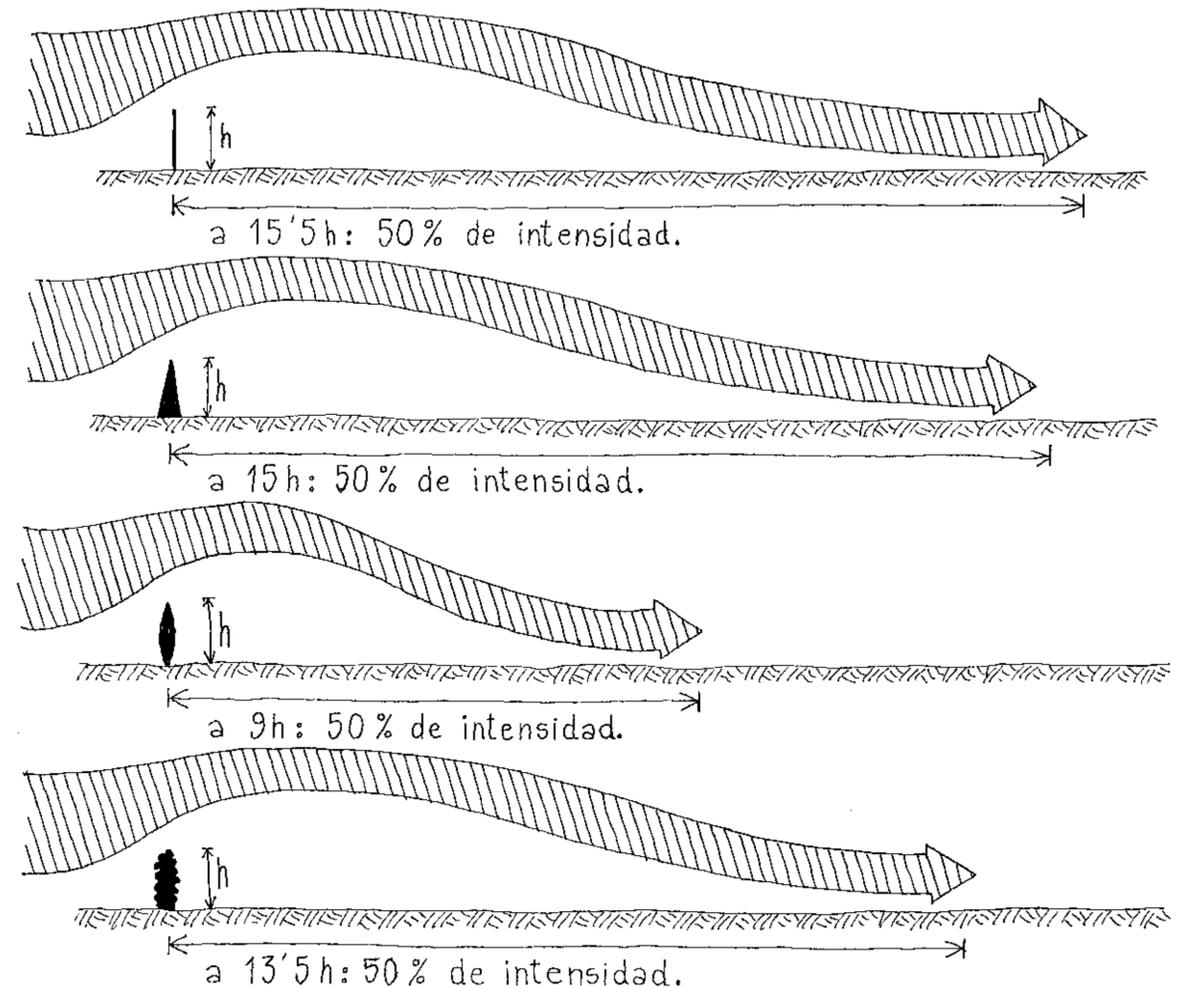
En todos estos casos, será importante conocer y controlar la acción que sobre el viento tienen los elementos construidos y, a la vez, cómo se refleja esto en los movimientos y las presiones del aire alre-

dedor de los edificios y en el interior de los mismos.

La primera acción a considerar es la de las **barreras** que el viento puede encontrar en su circulación, sean estos elementos naturales, construidos o vegetales.

Como regla general y para un

La protección que las barreras ofrecen al viento, como es lógico, no sólo tienen aplicación para elementos construidos exteriores a los edificios, sino también para la acción de estos mismos edificios sobre su entorno inmediato o sobre otros edificios cercanos.

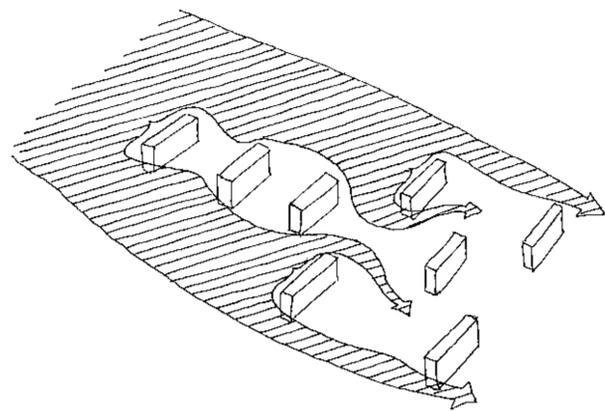


viento típico, con cualquiera de estos tipos de barreras la intensidad del viento queda reducida a la mitad hasta una distancia de diez a quince veces la altura de la barrera, siempre dependiendo de la forma de la misma.

Una reducción mayor, de hasta la cuarta parte de la intensidad, se conseguirá con barreras continuas (no vegetales), hasta una distancia del orden de diez veces la altura de la barrera.

Un caso que merece especial atención, con relación a la incidencia del viento sobre un edificio, es el de los árboles situados en su proximidad. La presencia de arbolado, en relación con el mismo edificio, debe significar la generación de zonas distintas en su entorno, más o menos protegidas o, incluso, el aumento de la acción del viento, según su disposición concreta.

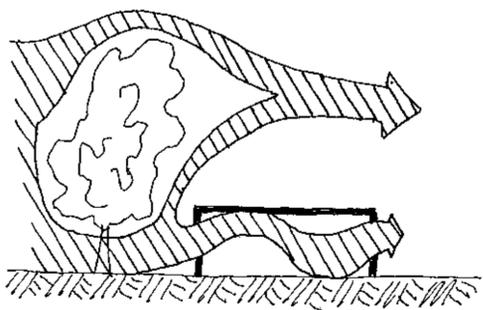
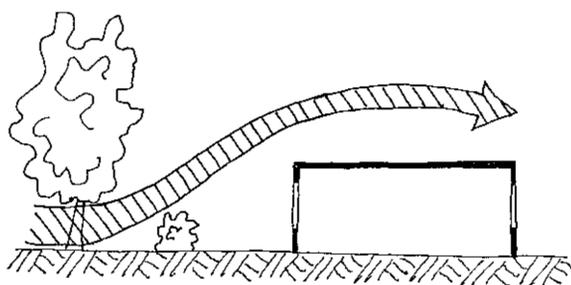
Es importante estudiar cada caso en planta y en sección, a nivel de



aproximación gráfica o, en el caso que ello sea posible, en un túnel de viento, ya que las acciones concretas en un caso en particular pueden quedar muy drásticamente cambiadas con una ligera modificación de las proporciones en las barreras utilizadas.

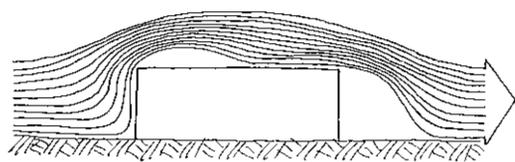
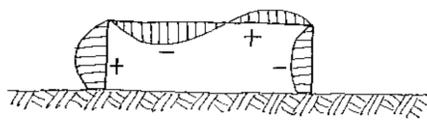
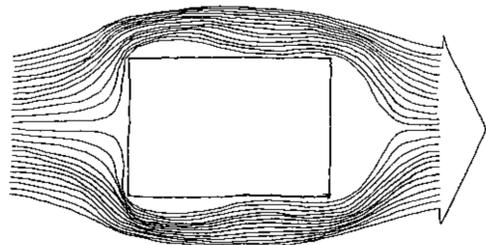
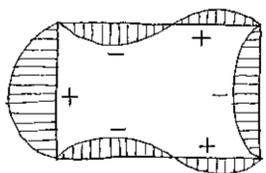
El paso siguiente consiste en analizar el **efecto sobre los cerramientos del edificio** de los flujos de aire. Este efecto se puede resumir, en la práctica, en las sobrepresiones o depresiones que se crean sobre las diferentes superficies y que son las que, en última instancia, generarán las corrientes de aire, deseadas o no, a través de los locales interiores.

Sobre una forma básica simple, paralelepípeda, cuando el viento incide perpendicularmente a una de



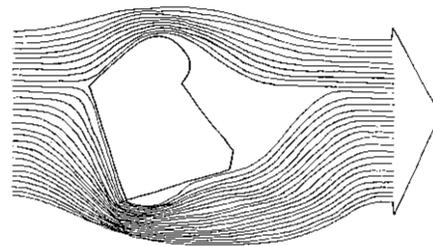
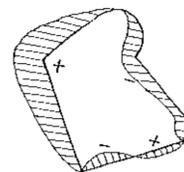
las caras, se genera una acentuada sobrepresión en dicha cara, una depresión de menor cuantía en la opuesta y una ligera depresión en las caras laterales, en la zona más próxima a la cara sobrepresionada.

En otros casos, al cambiar la dirección del viento o la forma del edificio que lo recibe, cambia el reparto de presiones sobre sus cerramientos. Lógicamente, siempre se conserva la sobrepresión en las superficies que



reciben el viento y la depresión en las situadas en sentido contrario, pero en las restantes superficies, muchas veces, no es fácil conocer su estado.

Por otro lado, la presencia de accidentes o irregularidades sobre las fachadas o cubiertas del edificio, puede modificar el reparto de las presiones del viento, acentuándolas o disminuyéndolas según el caso. Tal

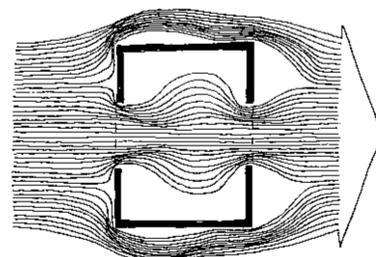
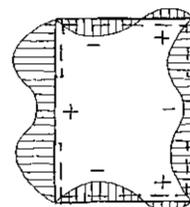


y como se ha comentado, el repertorio de casos posibles es muy grande, mas a pesar de ello, aplicando la lógica del sentido común a cada caso concreto, se puede aventurar con bastante aproximación la situación real.

Una vez conocidas las presiones que el viento ejerce sobre los cerramientos del edificio, el paso siguiente será determinar los **flujos de aire a través** del mismo.

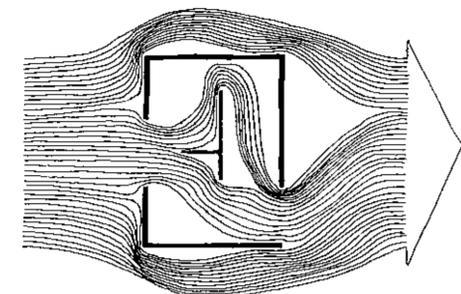
La primera distinción que debe hacerse es la que se da entre el caso de las infiltraciones, por rendijas o pequeñas aberturas en invierno, y el del paso franco en situación de verano.

En el primer caso, el reparto de presiones se conserva tal y como he-



mos visto con anterioridad pero en el segundo caso, las mismas aberturas hacen decrecer la presión (o depresión) en la zona en que se hallan. Este hecho puede ser importante al planear el reparto de huecos sobre una fachada.

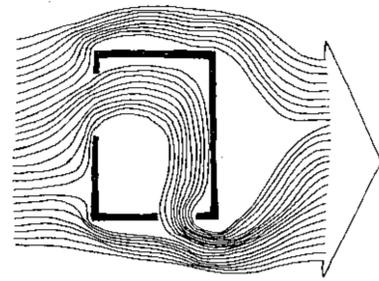
A continuación, como la corriente de aire interior se establece siempre entre dos aberturas en situaciones de presión distintas, será conveniente estudiar cuidadosamente las distintas posibilidades del aire para pasar por el interior. Como regla general, el flujo de aire no tenderá a repartirse entre caminos distintos, sino que seguirá el que le sea más fácil, o sea aquel en el que exista una diferencia de presiones más alta y unas resistencias a su paso más bajas. Según este principio, pueden quedar casi sin ventilación zonas teóricamente barridas por el aire.



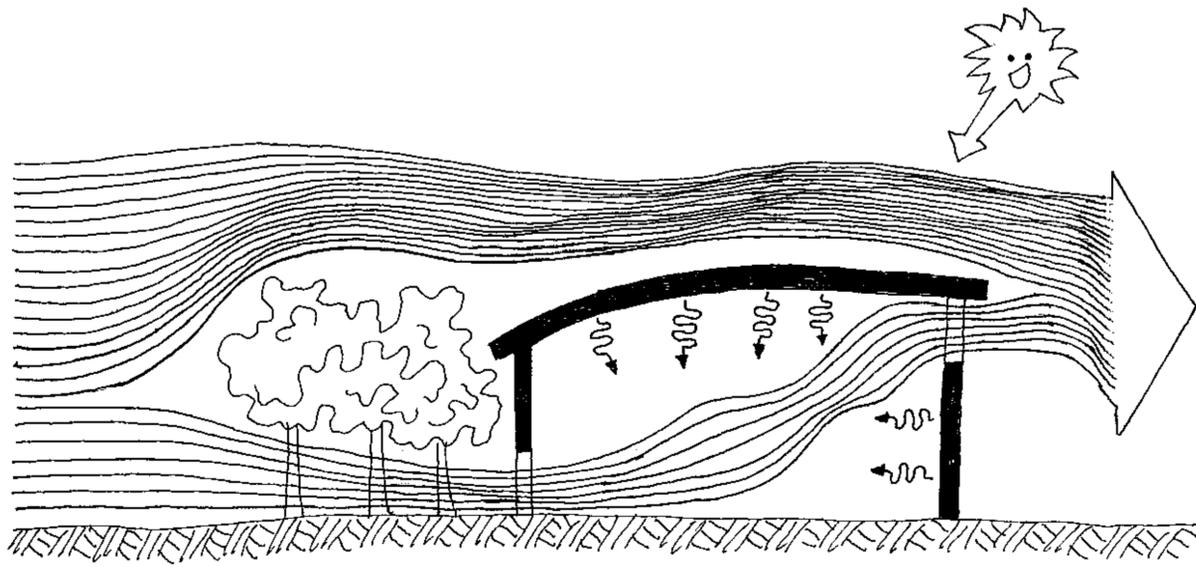
Otra recomendación general, en caso de desear que se favorezca la ventilación, sería sobredimensionar la superficie de las salidas de aire respecto a las de entrada. Como la acción de las depresiones acostumbra ser menor que las de las sobrepresiones, de esta forma el aire de salida circula más lento que el de entrada, para un mismo caudal total.

Analizando la disposición de las aberturas, siempre será conveniente situar las de salida en posición alta y

las de entrada en situación baja. Aunque eso no tiene especiales ventajas en caso de que exista un viento de mínima intensidad, sí es útil en situaciones de calma, en las que el aire más caliente sube hacia la parte más alta de los locales, tiende a salir por las aberturas y es sustituido por el aire más fresco que penetra por las aberturas inferiores.



tirá uniformidad en el interior, pudiéndose presentar zonas con el aire prácticamente estático al lado de



Como es lógico, todas estas recomendaciones, destinadas a favorecer el paso del aire por el interior de un edificio, se convierten en no deseables en tiempo frío, en que no interesa la ventilación. Un diseño en climas variables, como es el caso del mediterráneo, debe prever soluciones flexibles que se adapten a las diferentes circunstancias.

Suponiendo la existencia de unas determinadas aberturas o rendijas, entre las que se establece un flujo de aire, todavía queda por considerar cómo se realiza el **recorrido del aire** por el interior a través del local o locales a los que afecta.

Como ya hemos adelantado antes, el aire tenderá a seguir el camino más fácil (y más corto) entre la entrada y la salida; en consecuencia, no exis-

otras con una sensible corriente.

Si es así en ausencia de paredes o muebles interiores que afecten a las corrientes, cuando éstos existan todavía será más compleja la determinación de las zonas afectadas o no. Al igual que ocurría con el viento en el exterior, la casuística es inabarcable y, por suerte, en muchos casos la lógica del sentido común permitirá adivinar el comportamiento real de un interior.

A partir del conocimiento general de los principios que rigen "El clima del viento y de la brisa" en la arquitectura, el objetivo del diseño será optimizarlo, de acuerdo también con lo que se comentaba al tratar sobre "El clima del aire y de la humedad".

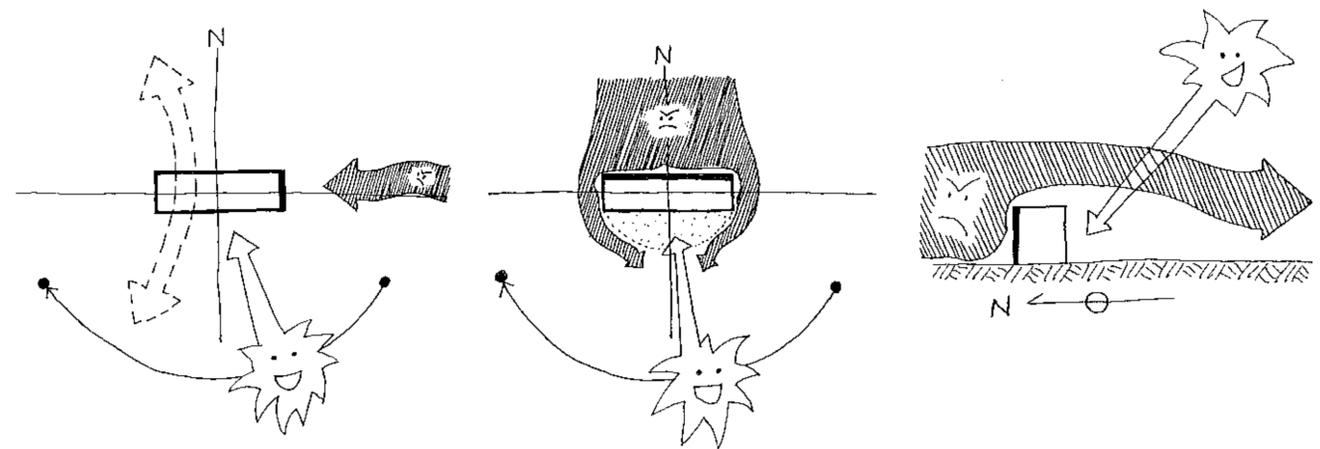
En primer lugar, deberían considerarse la **ubicación** y la **corrección**

**del entorno** del proyecto, procurando favorecer o dificultar, según cada caso, el paso del viento. Para esto conviene conocer las direcciones de los vientos predominantes según la época del año, distinguir entre los que consideramos favorables o molestos y actuar en consecuencia. La actuación puede consistir en protegerse con el relieve o buscar una situación más ventilada, en crear barreras vegetales o pantallas que conduzcan el viento y, en su caso, crear barreras o pantallas construidas con paredes, construcciones auxiliares o con los mismos edificios que se están proyectando.

El paso siguiente debería ser la elección de la **forma** más adecuada para el edificio, aerodinámica si el

de la sección del edificio, en especial, con la de sus cubiertas. La arquitectura popular nos muestra innumerables ejemplos de adaptación de las formas de la arquitectura a la presencia del viento.

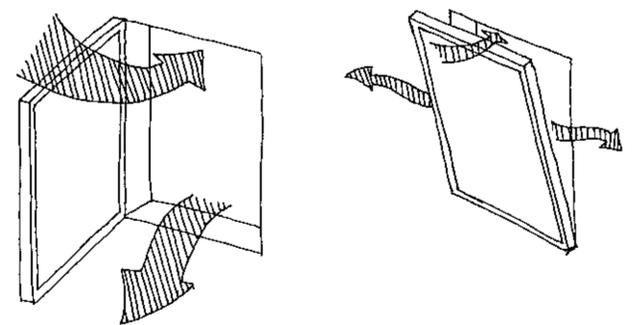
El tercer nivel a considerar en el diseño será la **disposición de las aberturas** en relación con las presiones previsibles sobre los cerramientos y, a la vez, la **distribución de los espacios interiores**. Ambos aspectos conviene que sean analizados conjuntamente, ya que están interrelacionados. El resultado final, de la circulación del aire a través del edificio, dependerá de los dos a la vez, siempre según la dificultad o facilidad al paso que el aire encuentre en cada recorrido.



viento es un problema y todo lo contrario si es deseable. Las formas alargadas se situarán transversales a la dirección de los vientos agradables (brisas en verano, por ejemplo) y paralelas a las del viento inconveniente. En esta orientación de la forma, el punto más crítico puede ser la combinación positiva de la acción del viento con la orientación solar adecuada, pero en general la solución resulta más fácil de lo que puede parecer.

Además de la forma general en planta, también es muy importante la

Por último, para las aberturas, será importante elegir adecuados **dispositivos de regulación del flujo** del aire. Las ventanas típicas "todo o nada", resultarán muy poco flexibles en la práctica y, por esto,



especialmente en climas variables como es el caso del mediterráneo, es importante elegir sistemas que permitan distintas posiciones que regulen el flujo, desde la abertura total hasta el hermetismo casi absoluto.

Con este conjunto de medidas, bien aplicadas, resulta posible asegurar un control natural de los efectos del viento en la arquitectura sin necesidad de acudir a complejos sistemas artificiales, siempre expuestos a averías y que tienen, por definición, una acción psicológica negativa sobre la comodidad de los ocupantes.

Pero además de estos recursos de tipo general, analizados hasta aquí como parte del proyecto conjunto del edificio, existe otro tipo de análisis especializado que también conviene conocer. Se trata del análisis del problema de la **ventilación desde las técnicas de control ambiental**, como un problema de generación del movimiento del aire y de control de las características del mismo, creando a voluntad brisas donde no existen y dándole de este modo al clima interior del edificio una nueva dimensión.

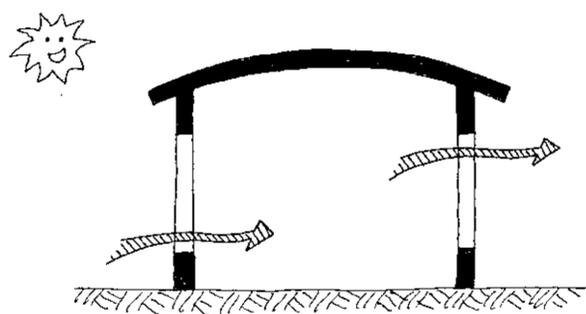
Los "sistemas de ventilación y tratamiento del aire" son componentes o conjuntos de componentes de un edificio que tienen como misión, por un lado, favorecer el paso del aire por su interior, pero además también pueden tratar el aire de ventilación para mejorar sus condiciones de temperatura y de humedad.

Normalmente, estos sistemas se estudian caso por caso, aunque hay que tener en cuenta que en la práctica siempre debe haber dos o más sistemas diferentes. En nuestro análisis, de todas formas, los clasificamos en:

- a) Sistemas generadores de movimiento de aire.
- b) Sistemas de tratamiento del aire.

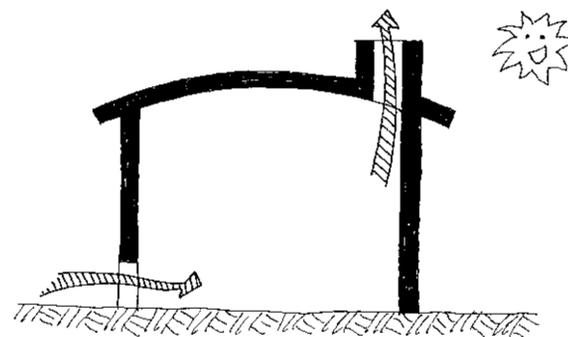
Los sistemas **generadores de movimiento de aire** son aquellos componentes que fuerzan el paso del aire mediante el efecto de las depresiones o sobrepresiones que generan. Sus efectos se valoran a partir de las renovaciones horarias del aire (rh) que se fuerzan. Las renovaciones horarias se calculan en metros cúbicos por hora y por metro cúbico de volumen habitable. Pero además representan, para cada caso concreto, una velocidad del aire interior ( $v_i$ ), que se mide en metros por segundo.

El primero y más sencillo de los sistemas para mover el aire es la **ventilación cruzada**, que ya hemos tratado. Aconsejable en todos los climas cálidos húmedos así como en climas templados en verano, las aberturas deben situarse en fachadas que comuniquen con espacios exteriores en condiciones de radiación o de exposición al viento distintas. Este tipo de ventilación puede generar de 8 a 20 rh, en presencia de un viento débil exterior.



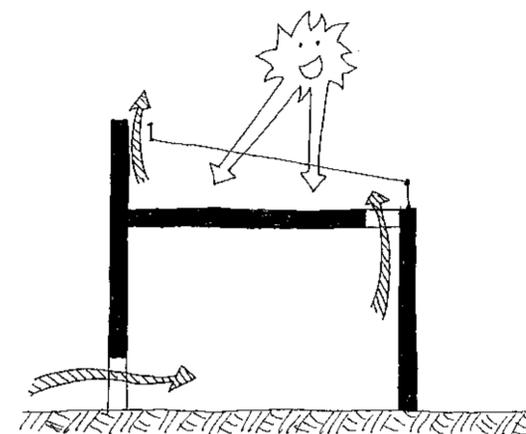
Otro sistema, también comentado antes, es el **efecto chimenea**, que se produce al crear una salida de aire con huecos situados en la parte superior del espacio, conecta-

das si es posible a un conducto de extracción vertical. La propia diferencia de densidad del aire, en función de la temperatura, hace que el aire caliente salga por estas aberturas superiores.



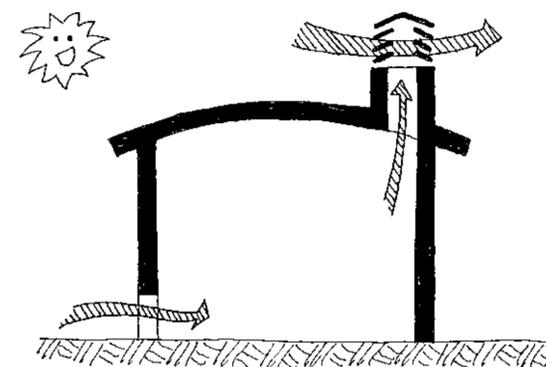
Este sistema se completa con la presencia de aberturas inferiores para entrada de aire más frío, que aseguran su funcionamiento. La ventilación que genera no es muy alta, del orden de 4 a 8 renovaciones horarias, aunque suficiente para evitar la estratificación de aire caliente en la parte superior de los ambientes interiores, pero no funciona muy bien en caso de que la temperatura exterior sea alta.

Otro sistema es la **cámara o chimenea solar**, que funciona captando radiación dentro de una cámara con una superficie de color oscuro protegida por una cubierta de cristal. Al calentarse el aire y disminuir su densidad, se produce un efecto de succión en las aberturas inferiores en contacto con el interior y una extracción del aire. Estas cámaras solares se orientan hacia la máxima intensidad de la radiación solar directa y no crean una ventilación demasiado alta, con renovaciones entre 5 y 10 volúmenes por hora, aunque tienen otras ventajas, como el hecho de que pueden combinarse fácilmente con sistemas de tratamiento de aire, o



que su rendimiento aumenta con la intensidad de la radiación, paralelamente al aumento de calor que esta radiación produce.

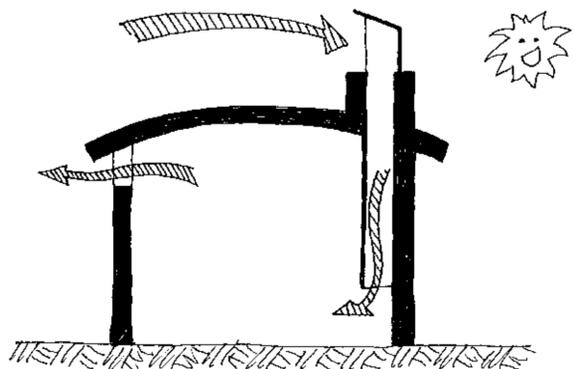
Otros sistemas para extraer aire del interior son los **aspiradores estáticos**, que producen una depresión interior en el edificio debida a la succión generada por efecto Venturi en un dispositivo estático situado en la cubierta. Existe una gran variedad de tipos de aspiradores estáticos, tanto según su tamaño, que permite adaptarlos a muchas cubiertas, como por lo que respecta a las formas en las que se fabrican.



Son sistemas de ventilación utilizables para los climas templados y los cálidos, pero deben ser zonas con vientos constantes si queremos que tengan utilidad real. Los caudales de extracción son muy variables, siempre dependen tanto de los tipos de dispositivos escogidos como de la intensidad del viento. En el caso de

vientos de cierta intensidad es fácil generar renovaciones horarias superiores a 10 volúmenes por hora.

También se puede crear movimiento de aire hacia el interior del edificio, en sentido contrario a los sistemas tratados hasta ahora, como es el caso de las **torres de viento**. En ellas se utiliza una torre, que se eleva hasta una altura suficiente por encima de la cubierta del edificio y recoge el viento donde éste es más intenso. El aire así captado se conduce hasta la parte baja de los locales mediante conductos.

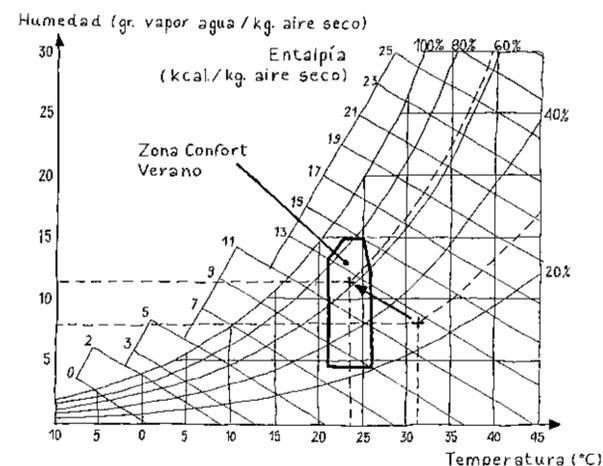


Es un sistema válido para climas cálidos con vientos frecuentes e intensos, pero la ventilación que genera no es muy grande, con renovaciones horarias de entre 3 y 6 volúmenes por hora. La ventaja de estas torres es que se pueden combinar con diversos sistemas de tratamiento del mismo y con los sistemas de extracción ya mencionados.

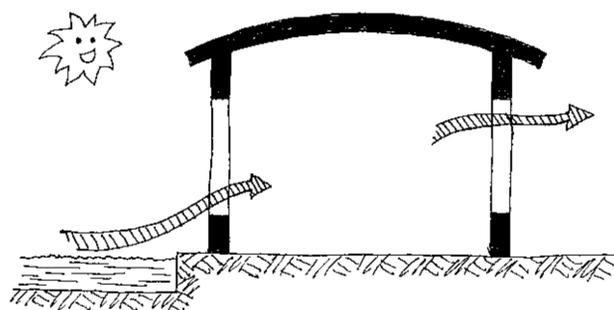
Si consideramos los **sistemas de tratamiento del aire**, vemos que son componentes que permiten que un determinado caudal de aire de ventilación pueda mejorar sus condiciones iniciales. Estos sistemas se caracterizan por el cambio que producen en las condiciones del aire que entra al ambiente interior, que normalmente son la temperatura o

la humedad del mismo.

Los más habituales son los que favorecen la evaporación del agua en la corriente de aire. Este efecto de **refrigeración evaporativa** se basa en el principio de que un líquido, al eva-

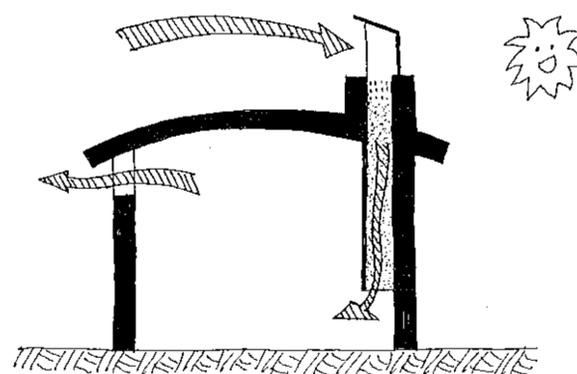


porarse, roba energía del aire con el que está en contacto y lo enfría, aparte de que aumenta su contenido de vapor de agua. Por ello, en el caso de un ambiente muy húmedo, el aire tendrá poca capacidad de evaporación. Son sistemas apropiados para climas cálidos secos o situaciones similares en climas templados en verano, y su funcionamiento depende básicamente de la relación existente entre la superficie de agua y el volumen de aire tratado.

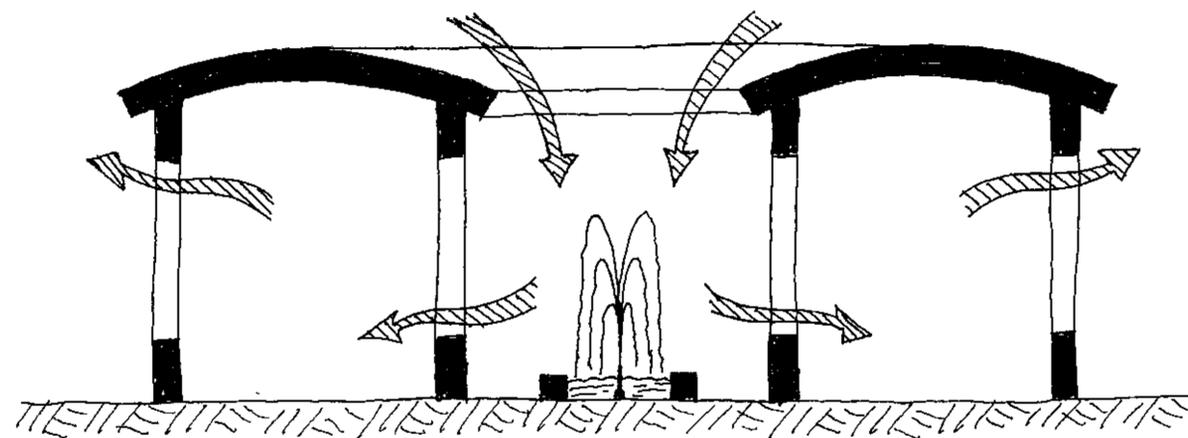


Un sistema de tratamiento del aire del mismo tipo, son las **torres evaporativas**, que tienen paredes humedecidas en contacto con el aire. La evaporación produce una impulsión hacia el interior del aire enfria-

do, aunque este efecto es muy reducido y por lo tanto el sistema sólo será útil en combinación con sistemas de extracción que fuercen el paso del aire por las paredes de la torre. Si la torre está diseñada a la vez como torre de viento para captar la entrada de aire, también se verá favorecido el paso del mismo.



Se trata de sistemas útiles para tratar pequeños espacios, ya que en otro caso la relación entre la superficie húmeda de contacto y el volumen de aire a tratar será demasiado pequeña y su efecto en el ambiente interior inapreciable.



El **patio** es otra solución de ventilación y tratamiento, aparentemente muy sencilla, y resulta compleja por el hecho de que, en el mismo, ya actúan muchos fenómenos simultá-

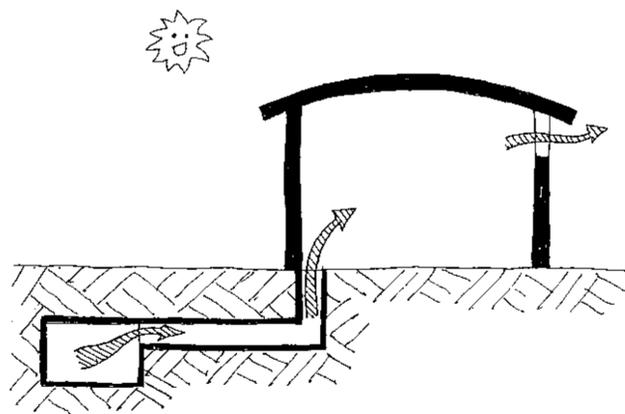
neos, siendo difícil aislar el efecto de cada uno del conjunto. Su efecto ambiental consiste en crear un espacio abierto dentro del volumen de un edificio, que genera un microclima específico relativamente controlado y actúa como filtro entre las condiciones exteriores y las interiores.

Como otros espacios intermedios el patio no actúa sólo sobre las condiciones térmicas, sino que también tiene efectos lumínicos y acústicos. Como tratamiento del aire, que es el caso que analizamos aquí, actúa sobre su temperatura y humedad, siempre por efecto evaporativo, en los casos en que exista una fuente o un estanque dentro de este microclima.

También actúa de otras formas, protegiendo su ámbito de la radiación solar directa, manteniendo así más baja la temperatura del aire y la posible existencia de vegetación también es una protección, a la vez que un posible aporte de humedad.



La **ventilación subterránea** consiste en favorecer la entrada del aire que proviene de un conjunto de conductos enterrados. En este caso se aprovecha la inercia del terreno para suministrar aire frío en tiempo cálido, mediante el contacto del aire de ventilación con el terreno.



Es un sistema adecuado en climas con gran oscilación térmica, ya que los conductos situados a gran profundidad (de 6 a 12 metros según los tipos de terreno), están a

temperatura prácticamente constante durante todo el año. Si el aire que tratamos es seco, el rendimiento del sistema puede mejorar con el terreno húmedo, ya que aumenta su transmisión térmica y a la vez puede enfriarse el aire por evaporación. Como la transmisión de calor del aire a la tierra es muy lenta, deben utilizarse conductos con recorridos muy largos para obtener un efecto apreciable y por este motivo también es mejor utilizar el sistema en edificios de uso discontinuo.

Resumiendo todas las estrategias que hemos comentado en "El clima del viento y de la brisa", su introducción en el proyecto arquitectónico no resulta sencilla, existiendo una elevada imprecisión en su diseño. La norma general debe consistir en prever sistemas flexibles y confiar en que los usuarios sepan utilizarlos con la máxima eficiencia.

## El clima del silencio

Puede parecer insólito que al hablar de los climas de la arquitectura nos refiramos al "clima del silencio", pero entendemos que esto tiene pleno sentido si estamos analizando el ambiente interior en su acción sobre el ser humano que lo habita. Los ocupantes de un edificio reciben, en todo momento, una serie de estímulos energéticos diversos que son percibidos, conscientemente o no, por sus diversos sentidos. En contra de lo que muchas veces parece, dichos estímulos no son independientes entre sí y el bienestar de los usuarios depende de su acción conjunta, con efectos que no pueden evaluarse como la simple suma de la acción individual sobre cada uno de los sentidos.

En el caso del sonido, que percibimos con nuestro sentido auditivo, está demostrado que las sensaciones sonoras actúan sobre nuestro bienestar, no sólo directamente, sino también modificando y con frecuencia empeorando, nuestras sensaciones térmicas, lumínicas o de otro tipo. Por esto, en este capítulo comentaremos el comportamiento acústico de la arquitectura porque, además, las actuaciones que realicemos con el diseño para mejorar la térmica o la iluminación de un espacio, tendrán siempre consecuencias acústicas que conviene conocer.

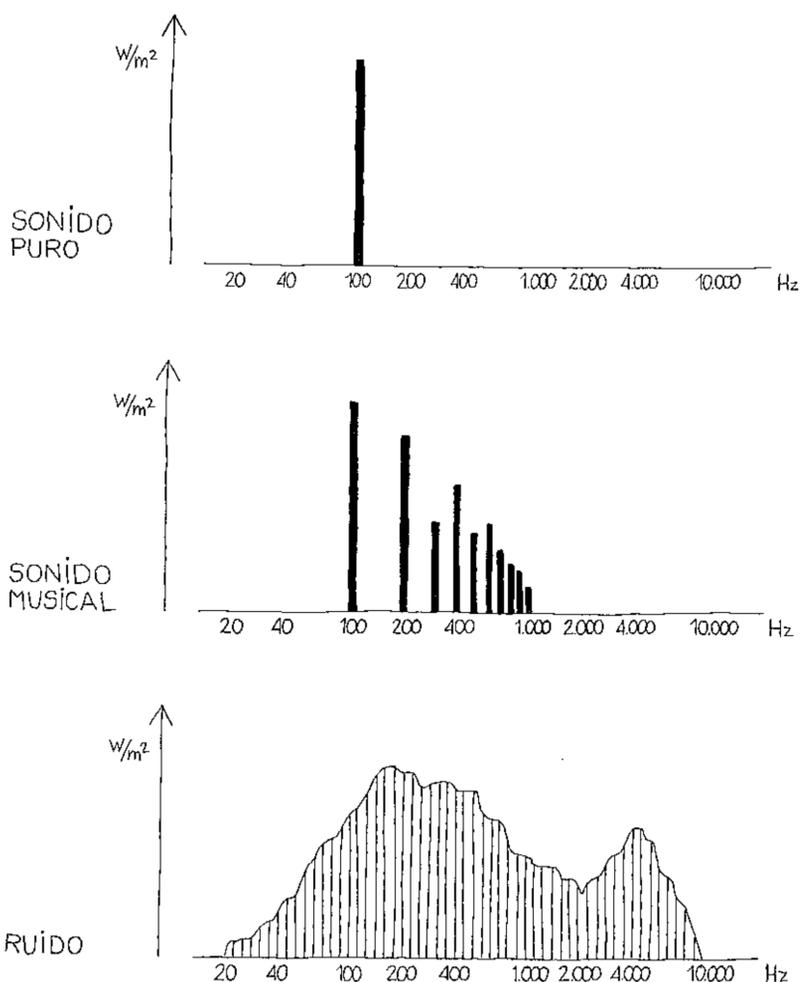
Aunque el sonido, como los otros fenómenos ambientales, comporta la presencia en el ambiente de una determinada energía (en este caso, mecánica), debemos tener en cuenta que las potencias energéticas con las que se produce el fenómeno son muy pequeñas en comparación con los otros casos. Por este motivo, la presencia del sonido difícilmente tendrá repercusión sobre el estado térmico de un interior aunque, inversamente, es fácil que cualquier pérdida de energía de sistemas o máquinas existentes en dicho interior repercutirán, si existen vibraciones, en la generación de sonidos de alta intensidad relativa.

Quizá por este motivo, en nuestra moderna sociedad la acústica arquitectónica ha tomado un sentido completamente distinto del que tenía históricamente. Lo que antes era un problema de reproducción del sonido en interiores, cuando interesaba que estos sonidos se difundieran de manera adecuada (palabra o música), en la actualidad se ha convertido básicamente en un problema de protección contra el ruido.

La "escoria sonora" que rodea los espacios donde habitamos hace que el problema acústico se convierta en una cuestión de protección, de creación de barreras separadoras. Por eso, al igual que ha sucedido con

nuestro sentido del olfato, nuestro sentido acústico es, sobre todo, defensa y sólo le queda como limitada misión algo de comunicación, esto sí, cada vez más individualizada.

Pero antes de seguir, debemos distinguir claramente lo que significan los conceptos de sonido y ruido. Aunque desde un punto de vista físico un sonido (vibración mecánica



en el aire captada por nuestros sentidos) se convierte en ruido cuando deja de ser un sonido puro (una única frecuencia) o un sonido musical (reparto de energía para las distintas frecuencias siguiendo un orden matemático), para nosotros la clasificación se basa en otros criterios de tipo psicológico.

Cualquier sonido que percibamos se convertirá en ruido desde el momento en que se trate de un "so-

nido no deseado". En este sentido tanto puede tratarse de la más maravillosa sinfonía, como del bramar intenso de un motor; lo que para nosotros lo convierte en ruido será su inutilidad. En este caso, además, si se trata de un sonido que lleva una alta carga de información (como la palabra) y no es un sonido que queramos percibir, la molestia todavía será mayor.

Nuestra atención inconsciente, excitada por la carga informativa de un sonido que no nos interesa, todavía convierte en más molesto dicho sonido, aunque su nivel de intensidad sea bajo.

Aunque por lo general no somos conscientes de ello, nuestra vida transcurre en ambientes siempre repletos de sonidos, algunos informativos, otros agradables, en gran proporción molestos (ruidos), pero la mayoría de ellos son sonidos que están presentes sin que seamos conscientes de ello.

Son sonidos a veces irrelevantes o poco significativos, con frecuencia monótonos o rítmicos, que se han convertido en una parte tan conocida de nuestro entorno que no merecen la atención de nuestro registro cerebral consciente. Los oímos pero no los registramos, pero eso no significa que no influyan inconscientemente sobre nuestro estado de ánimo y sobre otras sensaciones y reacciones ambientales.

El resultado más importante es que el silencio no existe más que como la negación de un sonido que escuchábamos y que ha desaparecido, o como la placentera sensación de descanso cuando se apaga el sonido que no oíamos, pero nos molestaba inconscientemente. Sobre estos ficticios silencios construimos una parte importante de nuestra vida. Incluso una de las más impactantes sensaciones estéticas, la música, está construida en gran parte con estos silencios inexistentes.

En el inaprensible mundo del sonido, que como vive en el aire comparte con él la evanescente cualidad de estar, pero no ser, de llenarlo todo, mas sin que podamos sujetarlo, el sonido también llena la arquitectura. Pero no sólo está presente en ella, sino que con ella interactúa, se refuerza, se corrige y se enriquece. En realidad, los edificios son, como grandes instrumentos musicales, que a veces suenan de manera muy agradable, pero que, por desgracia, cumplen a menudo pésimamente su misión.

Esta capacidad de poseer su propia acústica debería ser la visión positiva del sonido en la arquitectura, entender los espacios como resonadores de los sonidos que en ellos se producen, palabras, música, pero también pasos, golpes, clics de interruptores, repiqueteo de lluvias, pulsaciones de teclados o murmullos de fuentes.

En todos los casos, estos sonidos pueden mejorar o empeorar con los acabados y formas de los cerramientos o con las mismas proporciones de los espacios. Resulta interesante constatar cómo, en los estudios de

acústica arquitectónica, se ha podido comprobar que los espacios que cumplían las leyes estéticas más conocidas de la proporción geométrica, de base matemática y visual, resultaban con un comportamiento acústico más noble que otros espacios desproporcionados, según estas leyes.

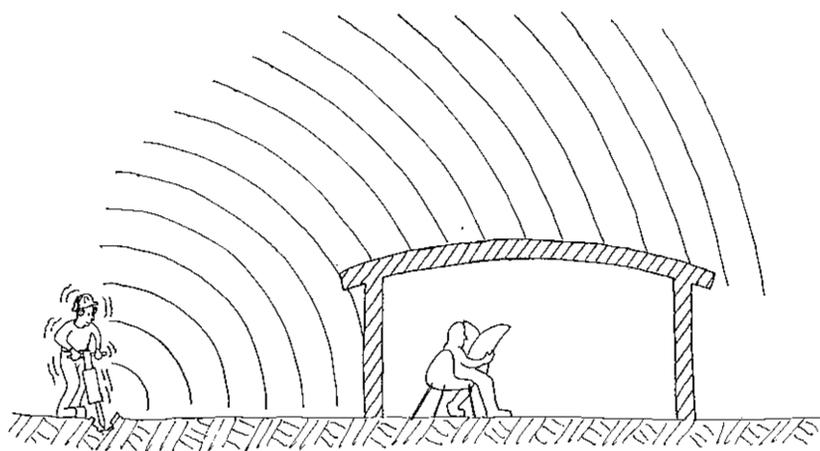
Esta aproximación en positivo respecto del sonido en la arquitectura ha quedado, hoy en día, todavía más enmascarado por el ya mencionado problema de la escoria sonora omnipresente en nuestra moderna sociedad y, además, por el mismo desarrollo tecnológico de esta sociedad que, con los modernos sistemas de grabación, transporte, almacenamiento y reproducción del sonido, nos hace creer que la acción de la arquitectura sobre la acústica ya no es importante.

Tal vez, con la acústica estamos cometiendo el mismo tipo de error en que caemos con las técnicas climáticas propiamente dichas. Como apuntábamos hablando de los más convencionales climas de la arquitectura, existen situaciones en las que las instalaciones artificiales de refrigeración no pueden compensar las deficiencias del edificio, y no por un límite económico o de capacidad de las máquinas, sino por los propios límites fisiológicos de confort del usuario que no soporta caudales excesivos o temperaturas demasiado bajas del aire de impulsión. De la misma forma, en espacios acústicos claramente desproporcionados, con una reverberación excesiva, etc., las mejores técnicas electroacústicas fracasarán si se intenta conseguir un sonido agradable.

Una vez más, las muletas que para la arquitectura representan muchas veces los sistemas artificiales de control ambiental, van a resultar insuficientes para conformar un ambiente adecuado si no existe una base adecuada en el mismo cuerpo de esta arquitectura.

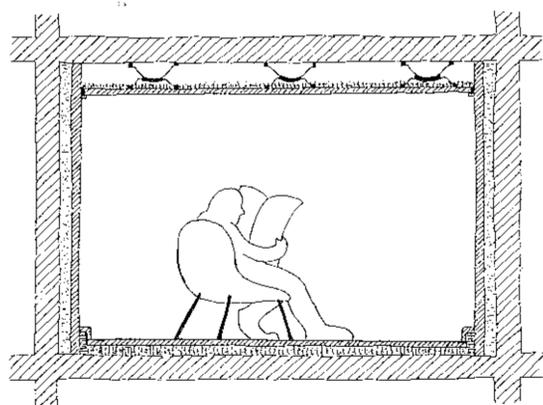
Retornando al inicio, para trabajar con el sonido en la arquitectura, lo primero que hemos de saber es conquistar el silencio. Se trata del silencio relativo, inexistente, el silencio del sonido que nos permite actuar sonoramente por encima de él, sin herir con ello la fisiología humana.

Para eso se necesitan **barreras**, cuanto más cercanas al origen del ruido mejor. De nada nos sirve una gruesa pared como barrera acústica, si en ella se abre un pequeño hueco, por el que se colará todo el ruido. Más vale reducir el ruido en el cuarto de máquinas que defender después el dormitorio con sofisticadas y costosas soluciones.



Con este planteamiento llevado hasta el límite, los edificios se deben convertir en agregados de cajas estancas, elásticamente independientes. Cada espacio es un recinto clausotróficamente cerrado con pesados muros respecto a los otros espacios y, sobre todo, hacia el exterior, silen-

ciosos ataúdes al fin. Por fortuna, existen otros recursos, el sonido puede amortiguarse ya en su recorrido, varias barreras ligeras pueden dar mejor resultado que una pesada. Sobre todo, se pueden obtener sorprendentes resultados aislantes con una adecuada distribución espacial de los recintos.



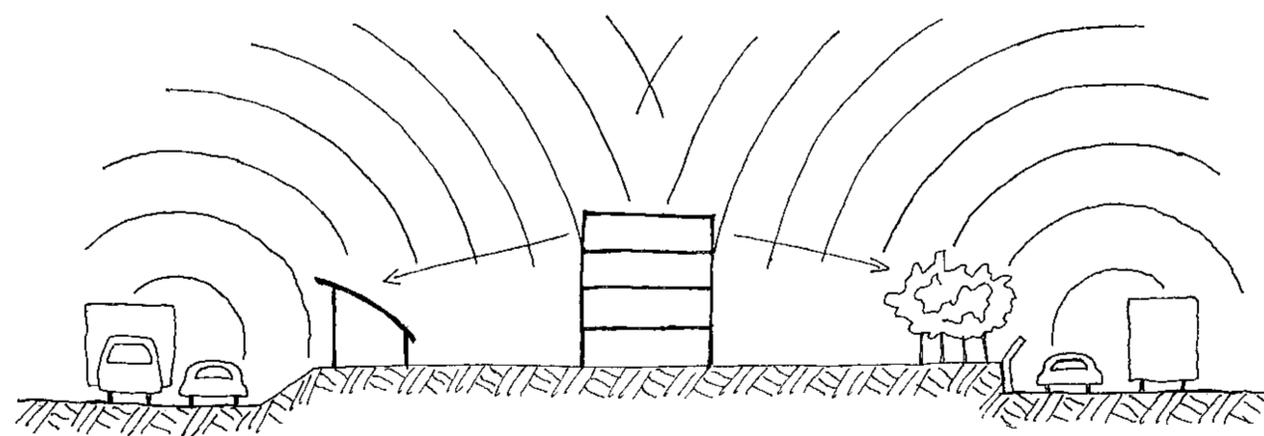
Podremos obtener recintos que quizá no serán del todo silenciosos, pero en ellos podemos trabajar de manera positiva con el sonido, conservando el valor informativo que tienen, incluso, los sonidos no deseados y que nos mantienen conectados psicológicamente con nuestro entorno.

Si la arquitectura pertenece a un lugar, debería estar conectada con él; esto sí, de forma no agresiva, como lo debería estar térmica y lumínicamente, y con su ventilación. El recurso supremo no es separarse

del lugar y construir anónimos edificios transplantables a cualquier zona del mundo, sino utilizar con discreción nuestra tecnología para aprovechar lo mucho de bueno que el entorno puede ofrecernos, filtrando de forma adecuada sus agresiones indeseables.

Repasando los procesos de diseño que afectan al "clima del silencio", podemos definir las estrategias más adecuadas para cada aspecto del proyecto arquitectónico.

En primer lugar, consideramos la **ubicación** del edificio, donde, si es posible, debe buscarse la protección topográfica o con vegetación de



cualquier ruido molesto. A pesar de que sabemos que el sonido más grave se difractará y nos llegará aunque estemos visualmente protegidos. A pesar de que el arbolado es sólo una barrera relativa y se precisan grandes gruesos de bosque cerrado (más de 30 m) para conseguir aislamientos importantes, cualquier barrera es buena, aunque sólo sea porque nos priva de la visión del elemento disturbante (autopista, industria, discoteca, etc.).

El ruido es un fenómeno físico, pero su acción molesta tiene un importante componente psicológico. Acomodables con facilidad a los estímulos persistentes, nuestras mentes pueden olvidar ruidos, y sobre todo si los estímulos visuales no nos los recuerdan. Por eso, ruidos amortiguados pueden ser una parte del silencio relativo del que hablábamos, que conserva, como decíamos, nuestra conexión con el mundo.

Una segunda acción posible de proyecto es la **corrección del entorno**, tratándose aquí de proteger nuestro espacio arquitectónico desde el espacio exterior que lo rodea. Las barreras, en este caso, podrán ser relieves artificiales, muros o cercas, vegetación de todo tipo, etc. La regla general es la misma: la barrera

visual no significa barrera acústica, pero ayuda psicológicamente. Si no podemos acercar la barrera al ruido, acerquemosla al espacio protegido, pero no la dejemos en medio, la difracción la hará inútil.

Una adecuada corrección puede crear un ámbito protegido alrededor o, como mínimo, cerca de la entrada del edificio. Este tipo de ámbito resulta interesante porque procura una agradable sensación de paso desde el exterior ruidoso hacia el interior, donde parece que la arquitectura nos proyecta su protección y nos acoge antes de que penetremos en ella.

Un espacio de este tipo, quizá completado con una protección contra el viento o la lluvia, e incluso referenciado mediante una gradación lumínica, sombreado en el día, cálida iluminación nocturna, puede resultar un agradable preámbulo ambiental a la experiencia, no por

repetida menos importante, de refugiarse en un edificio de la agresividad del mundo exterior.

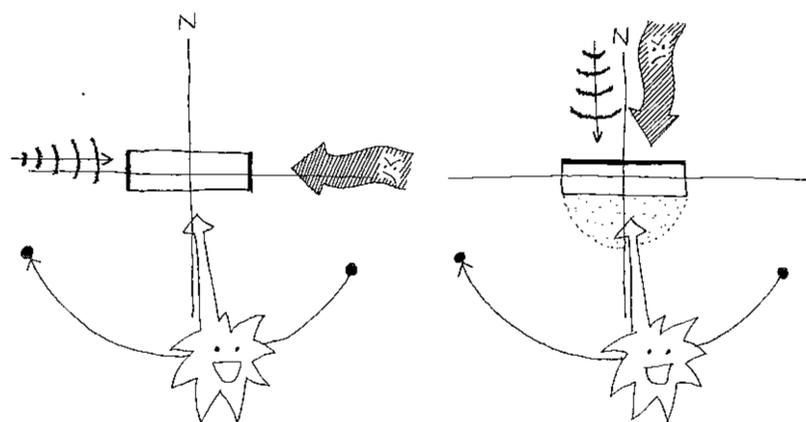
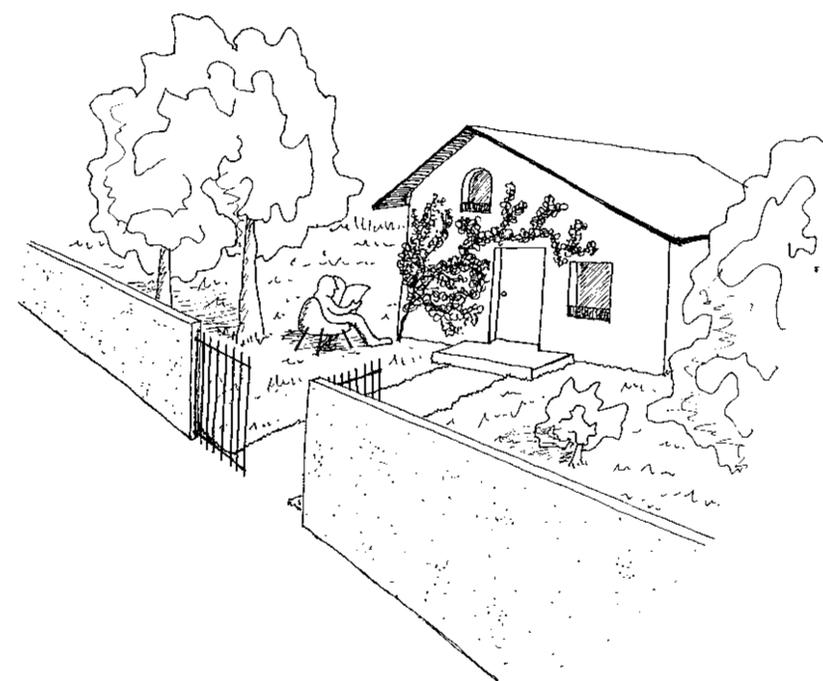
dará relegada al siguiente escalón del diseño: el de la piel.

En cualquier caso, sea cual fuere la estrategia usada con la forma del edificio, siempre será necesario considerar conjuntamente las orientaciones de la misma respecto del sol, del viento y del ruido. La circunstancia más afortunada se dará cuando las dos últimas coincidan en perpendicular o en paralelo con el sol. Si no es así, en última instancia habrá que elegir, como siempre ocurre en el diseño arquitectónico.

Otros recursos relacionados con la forma del edificio, consisten en el principio de la autoprotección hasta la creación de un espacio rodeado por la misma construcción: patio, atrio, claustro o jardín interior. Una vez más aquí se combinan los recursos válidos en el control del clima propiamente dicho con los del clima del silencio.

La tercera acción de proyecto a considerar es la propia **forma** del edificio, que tiene en su resolución puntos en común con los otros fenómenos ambientales. En el caso de existir una dirección del ruido predominante, el edificio debe exponer la mínima superficie posible a esta dirección, como sucede con el viento e inversamente a lo que conviene hacer con el sol de invierno.

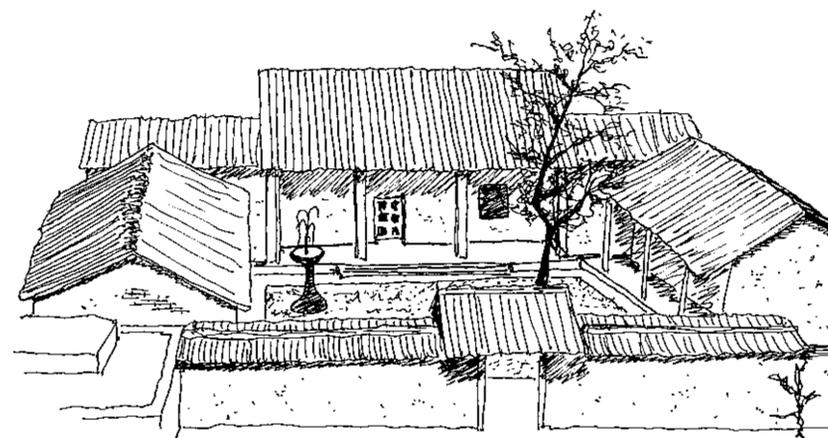
Sin embargo, como en el caso del viento, existe otra estrategia de sentido contrario, consistente en exponer una amplia dimensión del edificio al ruido (o al viento), para que así sea el mismo edificio el que proteja del agente molesto a las restantes zonas e, incluso, a parte del espacio exterior. En este caso, como es lógico, la defensa de la superficie expuesta que-



El espacio del patio protegido del ruido y del viento, refrescado y, a la vez, acústicamente tranquilizado con la presencia de una fuente, sombreado y perfumado con vegetación,

resulta la más perfecta integración imaginable de recursos ambientales.

**del edificio**, con mucho, el más complejo. En el interior, las acciones acústicas a tomar son muy diversas. Por un lado, están los ruidos que proceden del exterior, más o menos controlados según los parámetros anteriores, y por otro lado están los sonidos interiores que deberán amortiguarse y encerrarse, pero si



El cuarto nivel es el de cerramientos, paredes, aberturas y cubiertas, esta envolvente que llamamos **la piel del edificio**, última estrategia para controlar la penetración del sonido exterior. Como ya hemos adelantado, el peso es el primer recurso para detener el ruido, pero ha de estar unido a la continuidad de la protección. Los cerramientos opacos pesados precisan complementarse con aberturas estancas al ruido; en otro caso serán inútiles como barrera acústica.

Por esto, el principal esfuerzo de diseño, al menos en cerramientos con aberturas o los que son una gran abertura total, como es el caso de los muros cortina, será aplicado en la mejora frente al ruido de estos cerramientos ligeros.

Pero los cerramientos por algo son practicables y lo son, precisamente, para comunicar el interior con el exterior. De esta forma, cuando estén abiertos desaparecerá toda su acción como barrera acústica y en este caso, hay que protegerse de manera indirecta y reducir el ruido con sistemas especiales, como se verá más adelante.

El último nivel es el del **interior**

son sonidos deseados, deberán ser reproducidos y enriquecidos por los espacios en que se propaguen. La primera estrategia a considerar es la ya mencionada de la misma distribución espacial de los distintos locales. Consideraremos los ambientes interiores, tanto desde el punto de vista de su relación con las orientaciones geográficas y la dirección de las acciones del clima exterior, como desde el de la relación que pueda existir entre los mismos ambientes entre ellos.

Con este objetivo analizamos las funciones que se desarrollan en los edificios según su importancia relativa y las relaciones "topológicas" que tengan con el exterior y con otras funciones.

Clasificamos ambientalmente los diferentes espacios interiores de un edificio en tres tipos generales:

a) **Espacios principales.** Piden unas condiciones ambientales de comodidad más estrictas. En general destinados a un uso que exige una permanencia continua dentro de ellos. En el caso de las viviendas se trataría de salas de estar, dormitorios, comedores, etc. En el caso de

edificios de oficinas serían los despachos, salas de reuniones, etc.

b) **Espacios secundarios.** Permiten una flexibilidad de las condiciones ambientales. Se trata de espacios de uso discontinuo, tanto a lo largo del tiempo como del espacio. En casi todo tipo de edificios pueden ser espacios de circulación, de almacenaje, etc.

c) **Espacios independientes.** Tienen unas características ambientales propias que, según la función del espacio, pueden llegar a ser muy exigentes o muy diferentes de los otros espacios del edificio. Se trata pues de espacios que no pueden o no suelen estar integrados ambientalmente con el resto. Un ejemplo de este tipo son las cocinas en edificios de viviendas, salas de actos en un edificio de oficinas, etc.

Desde el punto de vista **acústico**, deberá relacionarse la posición de los espacios con la existencia de ruidos exteriores. Por lo tanto se deberá evitar la percepción de los ruidos molestos en los espacios principales. En este caso pueden utilizarse los espacios secundarios como barreras respecto a las direcciones de donde venga el ruido.

(el viento), como urbanas (puede ser un ruido exterior). A continuación intentaremos proteger al máximo los espacios principales, pero sin que pierdan el contacto con el exterior.

Respecto a la distribución interior, consideramos las relaciones entre los diferentes tipos de espacios posibles. Las relaciones que se establecen entre ellos dependen de sus características ambientales, teniendo presente que cada uno de los espacios puede generar o requerir unas condiciones ambientales determinadas y que, a la vez, estas condiciones pueden influir sobre las de los espacios contiguos. En un primer análisis clasificamos los tipos de espacios, según el tipo de funciones que se desarrollan en los mismos.

Pueden ser: funciones complejas (producen energía y requieren control), funciones generadoras (producen energía y no requieren control), funciones receptoras (no producen energía y requieren control) y funciones pasivas (no producen energía ni requieren control).

Así podemos establecer un cuadro de compatibilidad aplicable a espacios cualesquiera, incluyendo los exteriores.

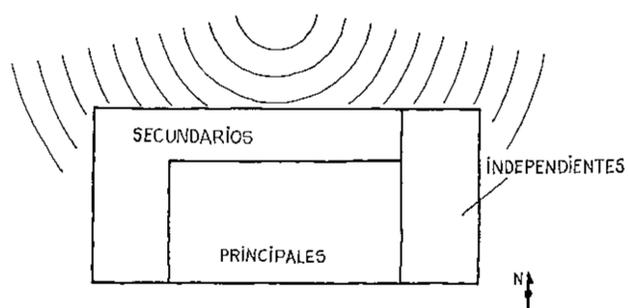
Como regla general dos funciones incompatibles se deben separar con una función compatible con las dos. Desde el punto de vista acústico, como ejemplos de productores de sonido que a la vez requieren control acústico tenemos: las salas de música, salas de estar con TV o HI-FI, salas de reuniones, etc. Como ejemplos del tipo 2 se encuentran dormitorios, bibliotecas y salas de estudio, etc. Como ejemplos del tipo 3, ruidosos, pero que no requieren control,

FUNCIONES	1. complejas	2. generadoras	3. receptoras	4. pasivas
1. complejas	incompatible	semicompatible	semicompatible	compatible
2. generadoras	semicompatible	compatible	incompatible	compatible
3. receptoras	semicompatible	incompatible	compatible	compatible
4. pasivas	compatible	compatible	compatible	compatible

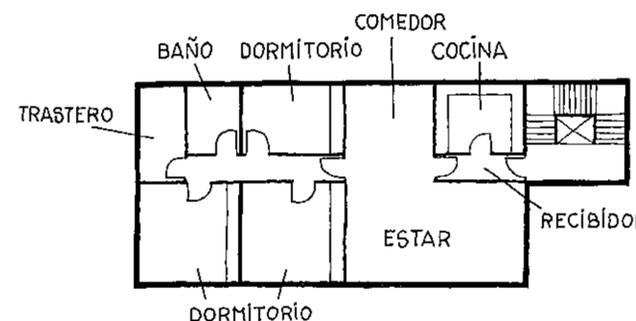
tenemos los sanitarios, cocinas, garajes, ascensores, salas de máquinas, etc. Por último, como ejemplos del tipo 4, silenciosos y que no requieren control, tenemos armarios, archivos, vestuarios, etc. Según la regla general, los espacios pasivos de tipo 4 servirán como protectores, respecto a los de tipo 3, de los de tipo 1 y 2; estos últimos pueden agruparse sin problemas, pero los de tipo 1 deberían quedar separados entre ellos, hecho que dificulta mucho cualquier distribución espacial.

valecer unos efectos sobre otros. Para realizar esta elección no existe una regla general, porque cada edificio y cada uno de sus espacios internos, es en sí mismo un complejo mundo de relaciones que se establecen a diferentes niveles. En cada caso, la decisión final puede ser y suele ser diferente, hasta el punto de que, en un caso muy similar al que se ha diseñado una vez, una pequeña variación de cualquier condicionante puede hacer que el resultado final sea totalmente diferente.

Otro aspecto a tener presente es la simultaneidad temporal que puede existir entre las diferentes funciones o actividades en los espacios del edificio. Este factor puede hacer que sean irrelevantes incompatibilidades que podrían existir en otro caso. Como ejemplo más inmediato tenemos el caso de la relación entre un dormitorio individual y su espacio sanitario. Por este motivo puede ser aconsejable en ciertos casos hacer un diagrama temporal de desarrollo de actividades.

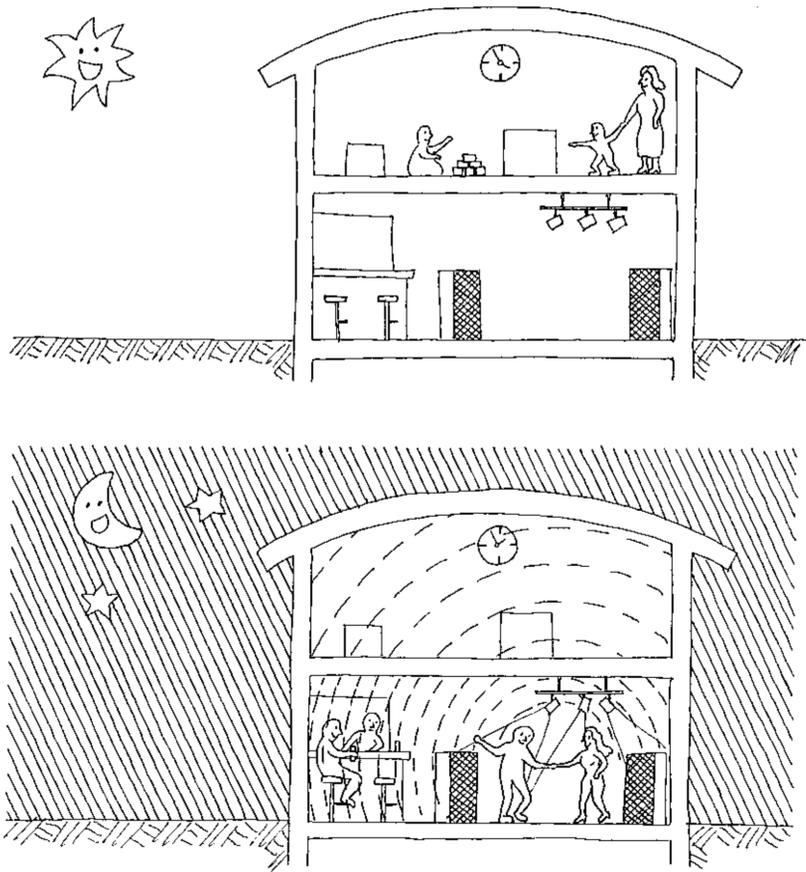


Tendremos en consideración tanto la orientación geográfica como la dirección de donde provienen otras acciones exteriores, tanto climáticas

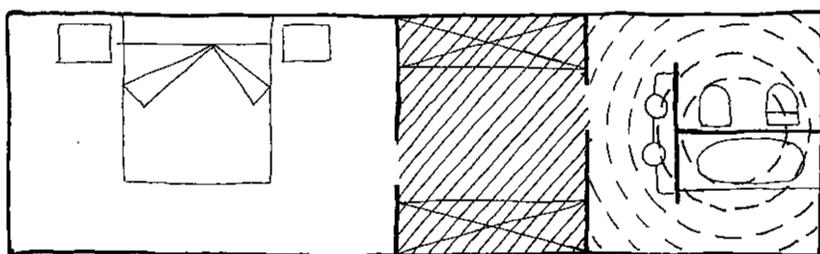


Teniendo en cuenta todas las consideraciones funcionales, juntamente con las diferentes implicaciones ambientales, al diseñar una distribución espacial interior, haremos pre-

Acústicamente también es importante prever las conexiones indirectas entre espacios, que se pueden producir por puertas enfrentadas a



lado y lado de un pasillo. En este caso, si se quiere evitar esta comunicación acústica indirecta, además de evitar el enfrentamiento directo entre las puertas, se deberá hacer especialmente absorbente el espacio intermedio que queda entre ellas.



Además de las reglas mencionadas anteriormente y de la misma forma que hemos hecho en otros climas de la arquitectura, pueden estudiarse soluciones específicas para los problemas acústicos, mediante

los "sistemas de control acústico".

Son estos sistemas conjuntos de componentes de un edificio que tienen como función la mejora de su comportamiento acústico, actuando sobre los sonidos externos o internos sin requerir ningún tipo de energía artificial para su funcionamiento.

Al considerar los sistemas que se incorporan al proyecto con una finalidad exclusivamente acústica deben analizarse dos tipos principales de acciones: por un lado, la corrección de deficiencias en aspectos genéricos de diseño según la función acústica y por el otro, la incorporación, menos frecuente, de sistemas únicamente acústicos para conseguir un efecto particular. En esta parte integramos el análisis de estos dos tipos de acción.

Los sistemas de control acústico pueden clasificarse en cuatro categorías, según el tipo de acción que hacen para corregir el comportamiento del ambiente: si proporcionan **protección acústica** a los ambientes de interiores contra los ruidos externos, si **corrigen la acústica** de los locales, si **generan** algún tipo de sonido o si **transmiten** el sonido.

La aplicación de estos sistemas acústicos especiales en la arquitectura, muchas veces no será necesaria

en el caso de espacios de utilización normal, pero en cambio será imprescindible para espacios que tengan uso prioritario acústico, como salas de conciertos y los estudios de grabación.

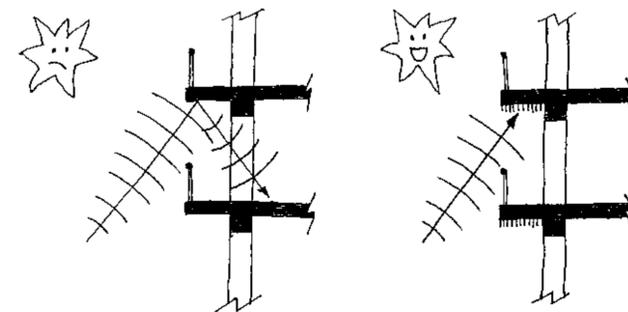
Los **sistemas de protección acústica** son conjuntos de componentes que se incorporan a los edificios con la intención de detener sonidos no deseados antes de que penetren en los espacios que queremos controlar. Al considerar las características de la piel de los edificios ya se toma en cuenta la importancia de su peso, de la continuidad y uniformidad de sus cualidades como barrera acústica, así como la hermeticidad de los cerramientos practicables. Consideraciones muy parecidas pueden hacerse al tratar el diseño del interior.

Aquí planteamos el caso en que acciones en el diseño general no han sido suficientes para separar espacios incompatibles acústicamente. En este caso, los sistemas posibles, que significan un incremento del aislamiento en decibelios, son: pantallas acústicas especiales y espacios acústicos intermedios.

Las **pantallas acústicas especiales** son sistemas de protección acústica que refuerzan el efecto de barrera de los componentes constructivos de separación entre espacios acústicos interiores diferentes, pero contiguos. Su función es la de reducir la inmisión de sonido del exterior o de un local que produce ruido a otro espacio interior.

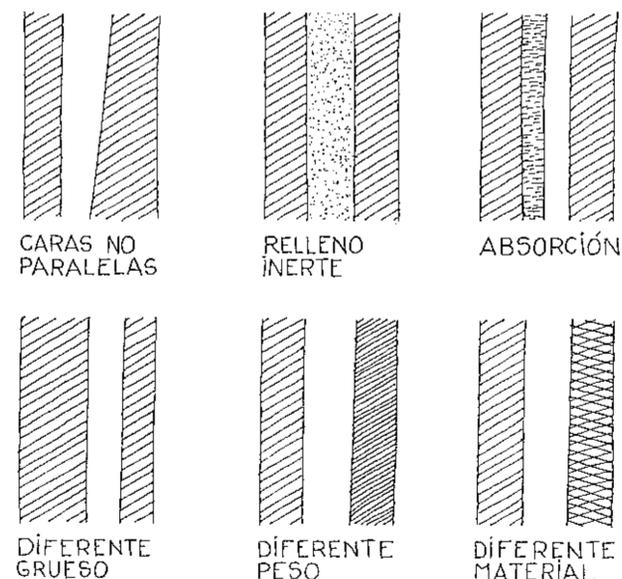
Pueden actuar como pantallas acústicas los elementos que sobresalen de las fachadas, cualquier cerramiento doble y los sistemas flotantes.

Los **elementos salientes** de una fachada, sean voladizos, aleros, balcones, etc., pueden reflejar las ondas acústicas que llegan desde una dirección, que normalmente va de abajo arriba y así proteger las ventanas u otros puntos débiles desde el punto de vista acústico del cerramiento del edificio. Se debe prever que estos mismos elementos no se conviertan en reflectores que incrementen la incidencia del sonido sobre las aberturas. Para evitarlo conviene convertir en absorbentes



acústicos las superficies reflectoras peligrosas. El incremento de aislamiento acústico que pueden proporcionar estos sistemas puede llegar a significar fácilmente una reducción de entre 6 y 12 dB.

Otra manera de crear pantallas de protección acústica son los **cerramientos dobles**, sobre elementos que

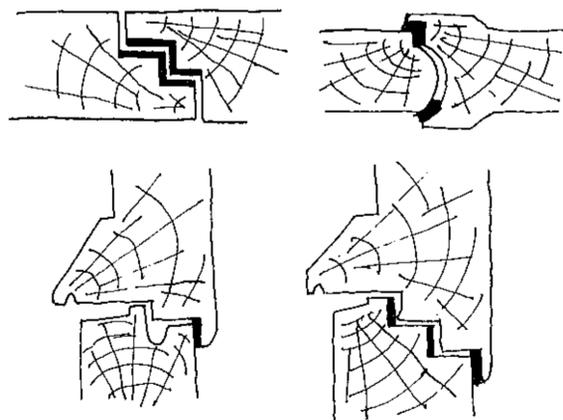


tengan un aislamiento acústico insuficiente. Para ello siempre debemos dejar una cámara de aire que independice las dos capas y se debe procurar reducir la reverberación que se puede producir en el interior de la cámara, por lo que es favorable una alta absorción en el interior de la misma.

Este efecto de doblar los cerramientos, puede hacerse con ventanas o puertas dobles, falsos techos de aislamiento, paredes dobles, etc. Los incrementos de aislamiento que comportan estas soluciones pueden ir de los 10-20 dB de las ventanas dobles, hasta los 20-30 dB de una pared doble, pasando por los 15-25 dB de un falso techo especial.

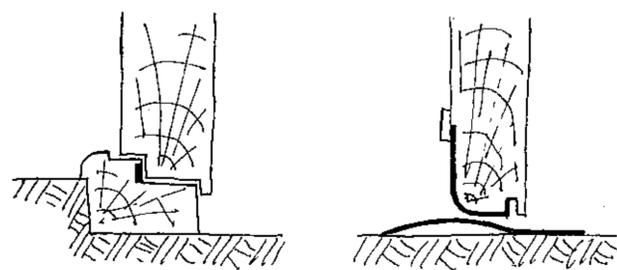
En el caso de las ventanas es muy importante considerar que el vidrio, por su cualidad vibrátil, acusa mucho el fenómeno de la resonancia. Con tal de mejorar el aislamiento, se puede recurrir a vidrios dobles de diferentes groesos, que son ventajosos si los dos cristales no son paralelos, si las juntas son elásticas y si las cámaras de aire están revestidas lateralmente con material absorbente.

Igualmente, en el caso de las ventanas practicables, será muy importante controlar las juntas entre la carpintería y el marco, mediante bur-



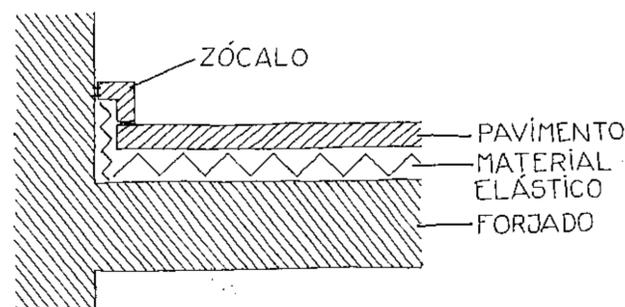
letes de caucho, dobles galces, etc. En cualquier caso la mejor solución siempre será doblar todo el conjunto de la ventana (con los laterales revestidos de absorbente).

Otro caso especial es el de las puertas, importante sobre todo en separaciones entre locales interiores. Se debe favorecer el incremento de su peso e incluso llenarlas de arena si es posible. Se deben controlar con cuidado las juntas de las puertas y en especial la solución del umbral, que acostumbra ser un puente acústico entre locales.



Un caso especial de refuerzo de barreras acústicas es el de los **suelos flotantes**; en este caso se refuerza el aislamiento de un forjado con la superposición de un pavimento que queda separado elásticamente.

Esta solución representa una mejora en el aislamiento a los ruidos de impacto y puede llegar a significar incrementos de aislamiento o de índice  $\alpha$  de unos 20-30 dB. También actúa como aislamiento contra los ruidos aéreos con mejoras de los aislamientos que pueden llegar a 25-40 dB.



Su único inconveniente, además del sobrecoste, es que representa un incremento de carga sobre la estructura del edificio que si no se ha tenido en cuenta, puede representar un riesgo para la construcción.

Los **espacios intermedios acústicos** son un segundo tipo de sistema de protección acústica, donde el tratamiento de este espacio intermedio como cámara de alta absorción, permite obtener fácilmente incrementos de aislamiento de más de 40 dB.

Otra categoría de sistemas acústicos la forman los **sistemas de corrección acústica de locales**, que son los conjuntos de componentes y tienen como misión corregir el comportamiento acústico de un interior. Su función no es aislar el espacio interior contra sonidos que provienen del exterior, sino procurar un buen reparto espacial y temporal de la energía acústica.

Tener un local con un reparto de la energía acústica correcto significa mejorar la reverberación, evitar ecos y cualquier tipo de concentraciones focales del sonido, así como reforzar las ondas acústicas cuando sea necesario y en las direcciones más convenientes.

Como los materiales y acabados de los espacios interiores de los edificios acostumbran a ser muy reflectores al sonido, la mayoría de veces la corrección acústica de los locales significa disponer materiales especial-

mente absorbentes, situados en los lugares más idóneos. La elección del tipo más apto de absorción selectiva según las condiciones y necesidades del local que queramos corregir, así como el uso de sistemas de absorción variable, permitirán un control ajustado de las cualidades acústicas resultantes.

Los **sistemas absorbentes** se caracterizan según los valores de su coeficiente de absorción para las diferentes frecuencias y cuando este valor es superior a 0,15, se puede considerar el material como absorbente. El aumento de la absorción en un paramento determinado puede conseguirse con el adosamiento de materiales o dispositivos que, tanto por su composición como por su geometría, sean capaces de absorber la energía del campo acústico.

Hay diferentes tipos de sistemas absorbentes, que podemos clasificar según el proceso o el mecanismo de degradación de la energía acústica que utilicen. Este proceso determina dónde tienen su máximo rendimiento y por lo tanto qué sonidos absorberán con preferencia.

Básicamente se dividen en "sistemas absorbentes porosos" y en "sistemas absorbentes resonadores".

Los primeros basan su funcionamiento en la degradación de la energía que se produce por fricción en el interior de sus poros. Se pueden agrupar en dos tipos: los de esqueleto



rígido y los de esqueleto flexible, con un funcionamiento acústico muy similar, pero con unos mecanismos de puesta en obra muy diferentes.

Los materiales **porosos** que actúan como absorbentes acústicos son materiales de celda abierta y en contacto directo con el aire exterior. Absorben la energía acústica por fricción de las moléculas de un fluido, que es el aire, al entrar al interior de estas cavidades tortuosas e intentar pasar a su través. Su capacidad de absorción aumenta típicamente a las frecuencias más altas y por lo tanto tienen mucha más absorción a los sonidos agudos que a los graves.

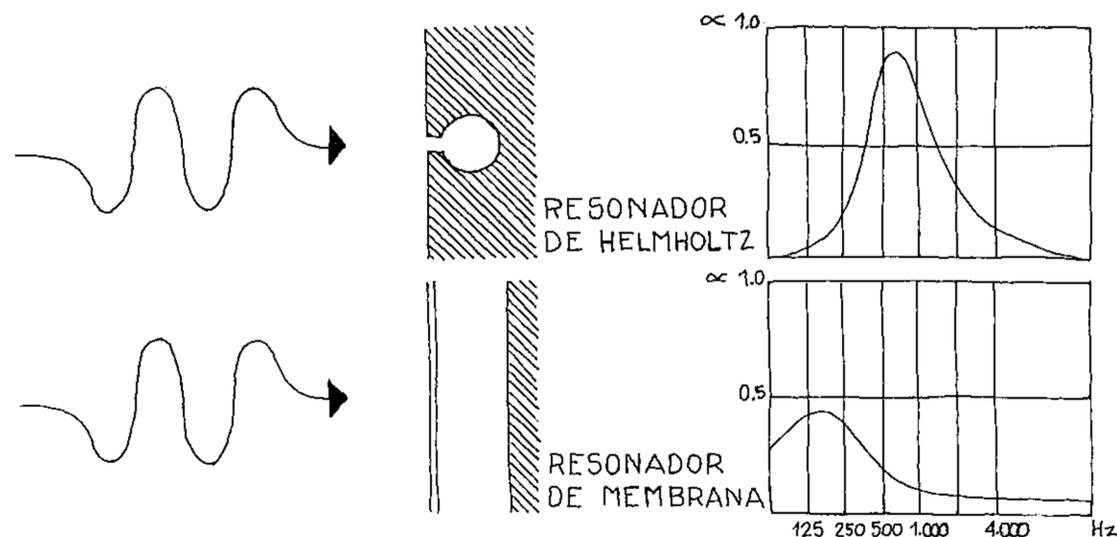
Son típicos los filtros sintéticos, las piezas de aglomerados de corcho y los tejidos similares a terciopelos sintéticos, que se utilizan habitualmente como sistemas correctores de la acústica de los locales.

Los sistemas **resonadores** basan su funcionamiento en la degradación de energía que se produce al convertirse la energía sonora incidente en

sí que tienen un comportamiento acústico muy diferente. Los resonadores simples, sobre todo el tipo de Helmholtz, pero también el de membrana, tienen un comportamiento absorbente muy puntual para determinadas frecuencias, mientras que los acoplados amplían el campo de frecuencias críticas absorbidas.

En estos sistemas la absorción de la energía acústica se produce por un fenómeno resonante, donde una parte móvil transmite la vibración a una parte posterior elástica que, con una frecuencia de resonancia propia, convierte la energía sonora en energía mecánica. Los paneles resonadores son más indicados para absorber sonidos graves que los sistemas absorbentes con materiales porosos.

Como caso particular de estos sistemas están los resonadores de Helmholtz, donde el elemento móvil y el elástico están formados por el aire contenido en una cavidad con una abertura que comunica con el exterior. Estos resonadores pueden acoplarse en paralelo, formando una



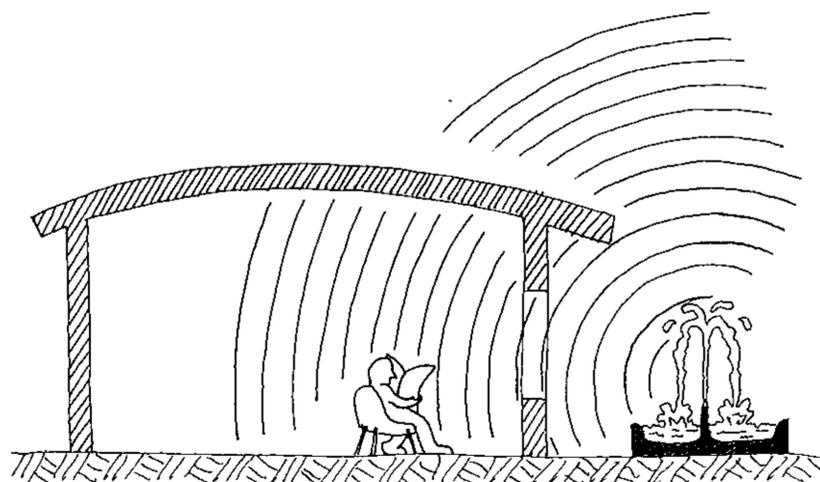
energía mecánica. Se pueden agrupar en resonadores simples y resonadores acoplados, que en este caso

placa perforada a cierta distancia de la pared de soporte.

En cualquier caso los diferentes

tipos de absorbentes pueden trabajar conjuntamente y ofrecer gráficos de absorción más continuos a las diferentes frecuencias y obtener, así, un comportamiento global favorable de los sistemas.

Otro tipo de sistemas acústicos son los **sistemas generadores de so-**



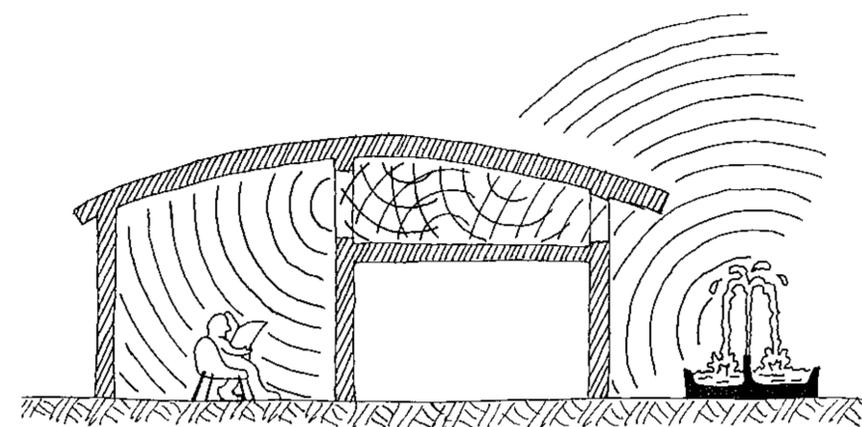
**nido**, que actúan produciendo un sonido en el ambiente que se pretende controlar y con ello mejorar sus características. En general puede tratarse de cualquier sonido natural que sea agradable o de sonidos más o menos artificiales, como es el caso de cortinas que a través del movimiento del aire pueden generar un sonido agradable e incluso informativo (presencia de visitantes, por ejemplo).

En otros casos este sonido agradable cumple una función de enmascaramiento y esconde otros sonidos que no se quieren oír, o que no queremos que sean oídos. Este es el caso de surtidores o pequeñas cascadas, que en un interior pueden ser especialmente adecuadas como enmascaradoras, pues producen un sonido

agradable, que cubre las mismas frecuencias de la voz humana y como no es un sonido informativo ni rítmico, no resulta molesto con el paso del tiempo.

Por último, existen también los **sistemas transmisores de sonidos**. Aunque históricamente tenían una especial importancia estos sistemas en la arquitectura, desde la aparición de los sistemas electroacústicos se ha perdido su utilidad y sólo quedan como curiosidades los efectos especiales de las "salas de los secretos" y los conductos acústicos de otros tiempos.

A pesar de todo, no se puede menospreciar totalmente la posibilidad de recuperar en nuestros edificios



sistemas de conducción acústica, para recuperar sonidos agradables, interiores o exteriores al edificio y transmitirlos mediante conductos de interior reflectante, concentrarlos con sistemas cóncavos, etc.

Unidos todos los recursos del diseño en los cinco niveles considerados, ubicación, entorno, forma, piel e interior y añadiendo los sistemas especiales cuando sea necesario,

quizá tenga sentido recuperar hoy, en nuestra arquitectura, este "clima del sonido y del silencio" que acompaña a los climas menos espirituales: del aire, del sol, de la humedad, de la luz, etc. Si somos capaces de proyectar arquitectura desde sus con-

tenidos ambientales, quizá podremos reconciliarnos con nuestros sentidos, convertidos hoy en desagradables ventanas del cuerpo por donde penetran agresivos estímulos que atacan, sobre todo, nuestra mente.

## Controlando los climas

Hasta aquí hemos descrito diversos climas que se encuentran en la arquitectura, desde los más perceptivos hasta los más inconscientes. En todos ellos creemos que existen líneas de actuación, que desde el diseño de los edificios, pueden mejorar su funcionamiento.

Sin embargo, en todos los casos existe un problema común, aunque no se haya remarcado en el apartado correspondiente, que es el problema de la variabilidad. Los climas cambian, en el exterior y en el interior de los edificios y estos cambios, deseados a veces, molestos otras, exigen de la arquitectura posibilidades de regulación, de adaptación a las distintas condiciones exteriores o a las distintas necesidades de sus usuarios.

Desde los inicios de la vida, los seres humanos han buscado elementos de su entorno que sirviesen para completar las capacidades de su propio cuerpo. En este sentido, la arquitectura (como el vestido) se puede entender como un complemento de la acción de adaptación al ambiente del cuerpo humano, pero también cualquier instrumento primitivo es un primer paso en la acción de dominio del entorno por medio de elementos artificiales.

En la relación entre el ser humano y la naturaleza siempre ha existi-

do una actitud dual. Por un lado, la naturaleza es agresión y peligro, las precipitaciones, el viento, el frío o el calor, las tempestades, terremotos y erupciones, las fieras o las bacterias, etc. Innombrables peligros acechan al ser humano frente al entorno natural y protegerse de estos peligros ha sido, desde siempre, la principal preocupación del extraño animal bípedo que destacaba singularmente de las otras especies. En la naturaleza encuentra así su alimento y bebida, pero también los recursos que le permiten, poco a poco, elaborar las condiciones que mejoran su permanencia en el planeta.

En la misma naturaleza que nos agrade encontramos medios necesarios para protegernos. Los cuatro elementos de Empedocles de Agrigento: agua, aire, tierra y fuego; o los elementos de la tradición china: madera, fuego, tierra, metal y agua, son a la vez amenaza y recurso, y con sus interacciones se autorrefuerzan, permitiendo al ser humano pasar de una situación defensiva, a una de aprovechamiento, disfrute e incluso modernamente a la de agresión hacia la naturaleza, problema acuciante de nuestros días.

Son innumerables los ejemplos en los que el ser humano se apropia de los elementos de la naturaleza y los utiliza para defensa, para me-

jorar su bienestar o ambas cosas a la vez.

Con la **tierra** el ser humano construye su cobijo, rompiendo su horizontalidad básica, levanta paredes, las apoya entre sí para sostener techos que protegen del viento, la lluvia y el frío. Con la **madera** refuerza sus construcciones, aprovecha sus cualidades específicas para mejorar sus estructuras, pero también para introducir elementos móviles en sus cobijos, que serán los primeros sistemas de control en la arquitectura. Con el **agua**, temida en torrentes e inundaciones, el ser humano primitivo se acerca, la detiene, la desvía, la controla y finalmente, la introduce en sus edificios, como comodidad e incluso placer, cuando adorna el ambiente con fuentes y estanques. Con el más dinámico de los elementos, el **fuego**, transmuta los otros elementos cambiando sus propiedades y sus efectos. Endurece la tierra y obtiene ladrillos, destila minerales y obtiene metales, calienta ambientes y cuece alimentos y, por último, convertido en luz, electricidad o energía mecánica, cambia el futuro de toda la humanidad.

Al incorporar la naturaleza a su acción, el ser humano hace de la arquitectura ante todo cobijo, defensa frente a la propia naturaleza, pero a la vez cumple también otra función primordial del ser humano, la afirmación de su propia existencia. El menhir, el dolmen o la simple cruz grabada en la corteza de un árbol, son ejemplos de esta necesidad. Luego, cuando su cobijo se convierte en arquitectura, este componente psicológico es factor importante en

la materialización de sus realizaciones. Los elementos de la naturaleza entran a formar parte de la arquitectura para cumplir así un doble papel, por un lado defensa y bienestar físico de sus ocupantes, por otro lado, afirmación de propiedad, caracterización y marca en el territorio, o sea bienestar psicológico para estos mismos ocupantes.



Pero desde las primeras etapas de la arquitectura, las acciones en defensa, apropiación o disfrute de los elementos de la naturaleza han necesitado, y han tenido, un control. La variabilidad de las condiciones exteriores, climáticas o de otro tipo, y los cambios en las necesidades o deseos de los ocupantes, han obligado a que la arquitectura no sea únicamente un conjunto de sistemas estáticos, fijos, actuando como barreras, sino que en ella siempre han existido sistemas dinámicos y flexibles, capaces de adaptarse a diferentes necesidades y condiciones, para mejor controlarlas.

Éstos han sido y son los sistemas de control en la arquitectura: ventanas y puertas, toldos y persianas, válvulas y grifos. Todos ellos han actuado modificando, regulando y filtrando componentes del ambiente arquitectónico y entre ellos están los más esenciales, los componentes y elementos de control de lo que hemos querido llamar "los climas de la arquitectura".

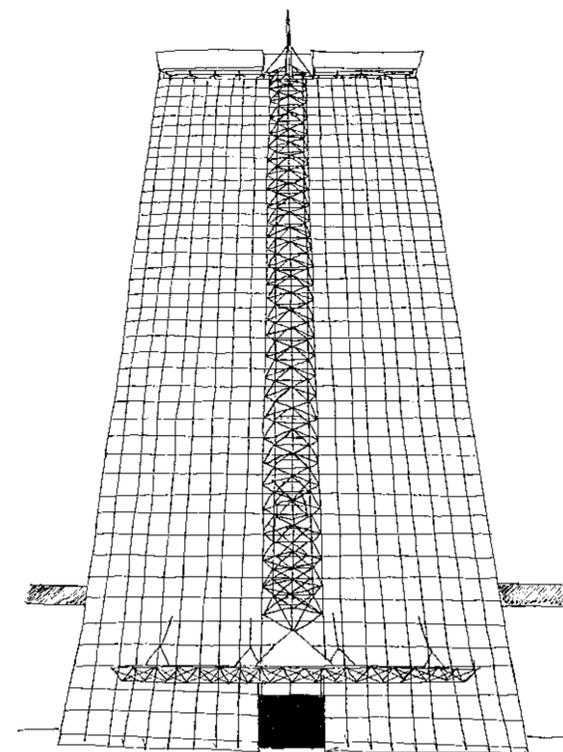
A lo largo de la historia, se han ido presentando etapas en el desarrollo de los sistemas de control. Aun hoy en día se entiende que "el edificio comenzó siendo estructura, a la que posteriormente se añadieron instalaciones, que mejoraban su funcionalidad". Sin embargo, ésta sería, una definición superficial de la arquitectura actual, que no tendría en cuenta el largo proceso que ha seguido el ser humano en la búsqueda, tanto de la forma constructiva, como de la funcionalidad.

Porque la forma no es inmediata, durante siglos y mediante un proceso de prueba y error, la observación de la naturaleza y sus leyes y el conocimiento de los materiales, han llevado al ser humano a construir lo que hoy son nuestros edificios. Si bien la forma ha cambiado sustancialmente en algunos aspectos, la función no deja de ser casi igual, proteger al hombre de las agresiones de la naturaleza y a la vez reafirmarse a sí mismo.

La búsqueda incesante de lo que llamamos "comfort", sea físico o psicológico, ha sido lo que ha llevado a evolucionar las demandas en todos los edificios. Este proceso comenzó a acelerarse en el siglo XVIII con la aparición del espíritu de la ilustración y

en su evolución, los SISTEMAS DE CONTROL han pasado de ser singularidades ingeniosas creadas para proporcionar algún beneficio inmediato, a desempeñar un papel predominante en la arquitectura.

Pero de la arquitectura antigua nos han quedado las partes más resistentes, las partes fijas y las representaciones planas de ella. En cambio, pocos de estos ingenios históricos han llegado hasta nuestros días, si no son los más recientes. De la misma forma, una fotografía de un edificio actual no da ni la más mínima idea de los mecanismos que esconde. Las instalaciones de servi-



cio y de acondicionamiento están presentes en la arquitectura actual de una forma cada vez más patente y la ayudan a funcionar mejor, pero la mayoría de las veces están ocultas a los ojos profanos.

El volumen que necesitan estos mecanismos ocupa cada vez un porcentaje mayor de la superficie construida, pero no sólo es espacio lo que

están ocupando en el edificio. El poder de decisión sobre ellos, se aleja cada vez más del ser humano y se delega en centrales que gestionan el **control** del edificio.

Invirtiendo los términos originales de lo que se entendía por arquitectura, parece ahora que el concepto de edificio se puede formular como "estructura de soporte y cáscara envolvente de un conjunto de instalaciones".

Con esta definición descargamos a la arquitectura de todo un concepto histórico que la liga con la forma material y la geometría de sus elementos sustentantes, a la vez que le incorporamos el concepto de espacio arquitectónico como ambiente regulado por sistemas, naturales o artificiales, que son los que conforman el entorno que en último término perciben sus usuarios.

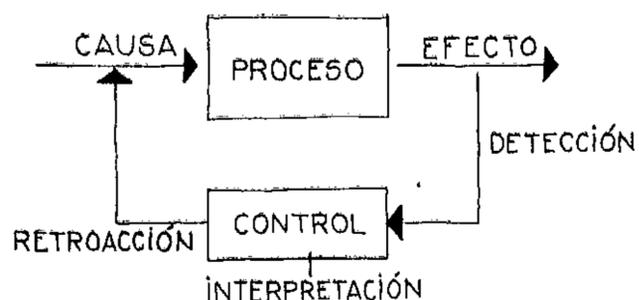
El concepto de **artificialidad** aparece, con más o menos intensidad, a través de las diversas culturas de la historia. Desde la antigüedad, en la que los esclavos eran la base de la energía mecánica, ya encontramos en Egipto, Grecia o Roma los primeros modelos de lo que hoy llamamos máquinas. Como es el caso de nuestra cultura occidental en la que existen, desde la edad media, interesantes precedentes de la cultura mecánica moderna. La tradición de los primeros relojeros generó un crecimiento importante en la construcción de autómatas, considerados como sistemas artificiales que imitaban la vida animal. En muchos sentidos el maquinismo es herencia de los primeros autómatas, de las cajas de música y de los relojes, es decir, de toda una cultura mecánica

subyacente en un mundo donde la magia dominaba la razón.

Existía quizás en aquel tiempo un reto, presente en la mente de seres fuertemente dominados por el poder de la Iglesia, que intentaba reproducir la vida animal (y humana) con su característica más explícita, el movimiento. En cierto sentido la herejía latente en aquellos pioneros anticipaba, también ingenuamente, el largo camino del pensamiento que lleva hasta el concepto moderno del robot.

A partir del siglo XVIII y sobre todo en el XIX, se desarrolla una nueva filosofía de la relación del ser humano con la naturaleza, que conduce al industrialismo y al desarrollo de la cultura de la máquina, entendida en este caso, no como imitación de la naturaleza, sino como complemento, y después sustituto, de la fuerza mecánica de los seres vivos.

Con posterioridad, paralelamente al industrialismo, durante el siglo XIX y con especial crecimiento en el XX, surge el concepto de sistemas autocontrolables (cibernética). En estos sistemas aparecen circuitos de detección->interpretación->respuesta, que actúan retroactivamente sobre las causas, para producir los efectos que se desean. Con este paso se superan los mecanismos programados para hacer una determinada acción (máquinas) y se llega a siste-



mas que controlan el efecto del mecanismo (cibernéticos), en un trayecto que llevaría hasta sistemas que aprenden cosas, con lo cual nos acercaríamos un paso más a los sistemas vivos.

Estudiando los sistemas vivos, vemos que las relaciones del hombre con el entorno son fundamentalmente intercambios energéticos, en los que es necesario un control permanente debido al hecho de que se tiende a mantener unas condiciones interiores estables frente a un entorno cambiante. Este fenómeno, que se denomina "homeostasis", implica la existencia de órganos específicos que actúan como equilibradores de la relación interior-exterior. La misión de estos mecanismos es regular la respuesta del cuerpo a las cargas ambientales: climáticas, lumínicas, acústicas, etc. Por ejemplo, éste sería el caso de regulación térmica en el cuerpo humano, donde la sudoración, el riego sanguíneo, etc., no hacen más que mantener constante la temperatura interior frente a los cambios térmicos del ambiente.

Estos mecanismos funcionan siempre de forma retroactiva y alcanzan la estabilidad interna mediante la detección de los efectos sobre el cuerpo de los cambios exteriores, actuando en consecuencia sobre los elementos que pueden regular flujos energéticos entre el cuerpo y el entorno.

Avanzando en nuestro análisis, podríamos entender también de la misma forma la relación de un edificio con su entorno, aunque en este caso nos tendremos que referir a sistemas mecánicos o mecanismos artificiales, en lugar de sistemas biológicos.

En la arquitectura, entendida como espacio estable y protegido, existen muchos fenómenos que son cambiantes en el tiempo, tanto si son energéticos como si no lo son, pero esta variabilidad en el tiempo a menudo se olvida al diseñarlos y calcularlos.

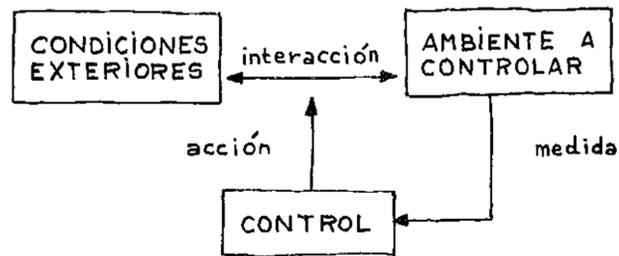
Así, sabemos que la radiación solar no tiene las mismas cualidades por la mañana, al mediodía o por la tarde, ni en verano o en invierno, ni en un día nublado o despejado, como no tienen las mismas cualidades y necesidades sonoras una música rock o la música de cámara o una conferencia. De la misma forma, una sala pensada para un número determinado de personas no siempre estará ocupada al 100%, o la acción del viento y de las temperaturas sobre una fachada cambiará de un momento a otro del día sin un ritmo conocido previsible, etc.

Las variables son muy diversas y su combinación llega a ser incontrollable; por esto sería absurdo pensar en el diseño de espacios idóneos para cada una de las posibles combinaciones, sino que debemos hacerlo de forma que sean capaces de adaptarse con facilidad a la variabilidad lógica de los fenómenos energéticos.

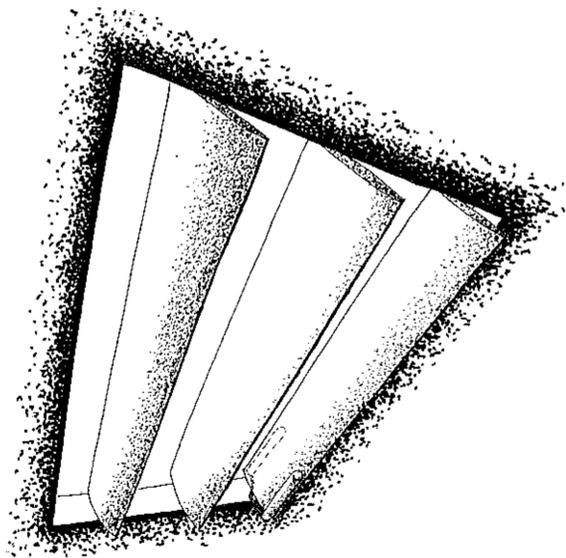
Considerando el caso del control ambiental como una parte importante del problema, veremos que esta adaptación a las variables puede realizarse mediante diversos mecanismos de control y regulación, que clasificaremos globalmente en dos categorías: pasivos o activos.

Los sistemas de **control pasivo** son los que actúan sin la intervención de mecanismos ni de energías artificiales; se trata, por lo tanto, de

cambios que se producen en la piel del edificio (control ambiental natural) o en su interior (otros tipos de acción), para controlar dinámicamente los efectos sobre el ambiente o sus usuarios. Este control ambiental pasivo implica en muchos casos la acción humana, convirtiéndose los mismos usuarios en elementos controladores del sistema (abriendo y cerrando puertas, ventanas, persianas, etc.).

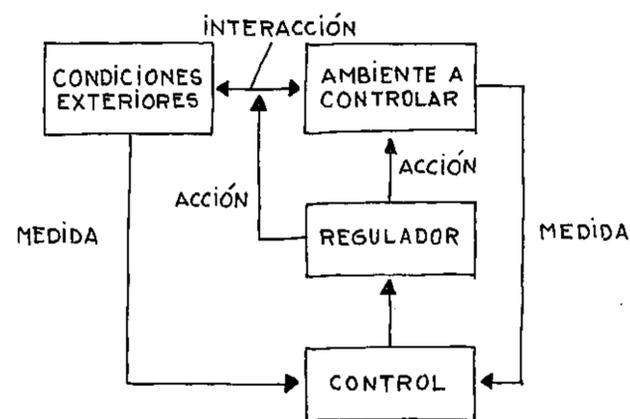


Únicamente en ciertos casos de dispositivos ingeniosos, se encuentran sistemas de control pasivo sin la intervención directa de personas y sin energías artificiales para su funcionamiento. Éste es el caso de aberturas de ventilación que automáticamente regulan el caudal de aire que pasa, cerrándose más cuando sube la presión del viento, o las lamas de persiana llamadas *skylids* por su inventor Steve Baer, que tienen un sistema de depósitos comu-



nicados con un tubo y rellenos de freón; éste, cuando el sol calienta el sistema, se gasifica y desequilibra el peso, cerrando y protegiendo las aberturas, que vuelven a abrirse cuando se enfría y se licua el gas al dejar de incidir el sol.

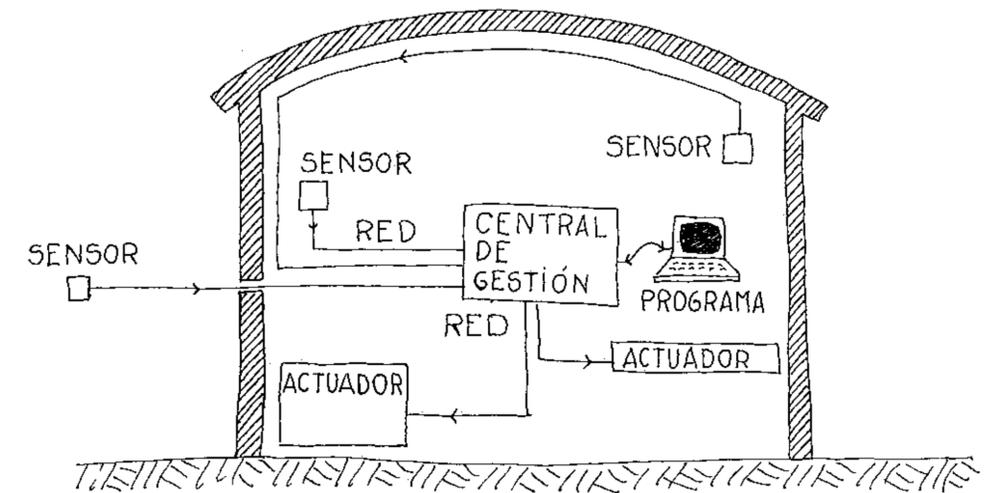
El **control activo** se produce cuando la detección o medida de un efecto, las decisiones sobre este efecto y la acción correspondiente, se realizan mediante un sistema artificial, con los componentes correspondientes para cada una de estas tres partes del control activo, que se llama retroactivo o realimentado, al influir la salida o efecto del sistema sobre la entrada o causa del proceso. A pesar de que cada acción que la central decide hacer ha de estar preprogramada y, por lo tanto, prevista *a priori*, la capacidad de acción de un sistema de control activo puede ser muy superior a la de los sistemas pasivos. A pesar de ello, todavía hoy la flexibilidad y capacidad de adaptación de los sistemas pasivos no ha sido superada por los activos.



Para llegar al concepto de control integral en la arquitectura es necesario superar la vigente consideración individual de cada tipo de instalación, sustituyéndola por un concepto global, que estaría relacio-

nado con denominaciones que ya están en uso: **DOMÓTICA**, **EDIFICIO INTELIGENTE**. Pero al igual que ocurre en el cuerpo humano, donde los órganos de los sentidos funcionan básicamente aislados y la verdadera sinestesia se produce en el cerebro, las instalaciones de un edificio continúan funcionando aisladamente, con sólo algunos procesos parciales de fusión.

La verdadera integración global se realiza a nivel del **SISTEMA DE CONTROL**, que cumple un papel equivalente, aunque nunca igual, al



del cerebro humano. De acuerdo con este concepto, podríamos esquematizar los sistemas de control en la arquitectura, en sus diferentes etapas, como un conjunto de sensores, redes, centrales de gestión, actuadores, etc., todos ellos actuando en conjunto para hacer del espacio arquitectónico un lugar más confortable.

Para entender mejor el conjunto del edificio, veremos estas etapas sucesivamente, teniendo siempre en cuenta que en realidad deben funcionar como un todo para que se consiga el efecto deseado:

a) En primer lugar, el edificio se informa con **SENSORES**. Para ello

se utilizan diversos tipos de dispositivos, que actúan como sentidos del edificio: termómetros, antenas, fotómetros, ultrasonidos, circuitos de televisión, relojes, anemómetros, higrometros, etc., receptores de distintos tipos de información.

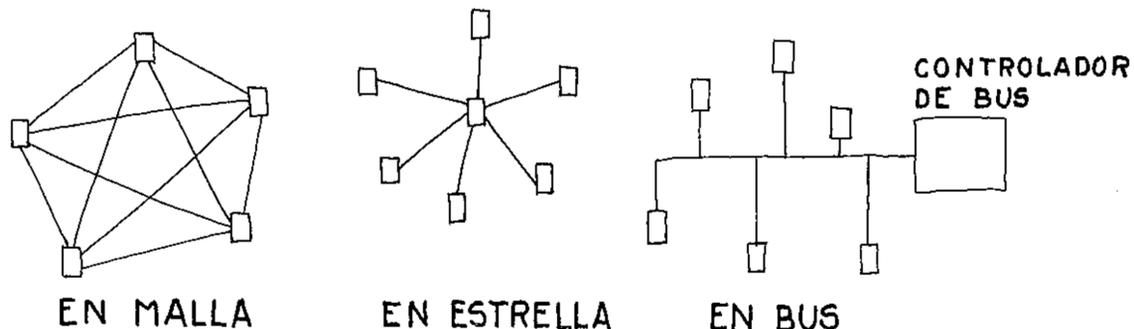
Los "órganos sensoriales" del edificio exploran el mundo exterior y el espacio interior de la arquitectura y sus cambios, descomponiendo analíticamente la información en factores simples como: temperatura, humedad, velocidad del viento, iluminación, presencias extrañas, flujos

de materia, flujos de energía, tiempo, mensajes, etc. A continuación todos estos factores se convierten en **SEÑAL**.

b) En segundo lugar, con las **REDES** el edificio comunica. Las señales que se generan en el proceso anterior buscan un receptor donde volcar la información recibida y para ello precisan un camino (cables y ondas son los más comunes). Como es impensable un enlace independiente para cada sensor, se estructura el sistema de comunicación, con muchas y diversas posibilidades para esta estructura: **malla** (cada componente se enlaza con todos los demás),

**estrella** (cada componente se enlaza únicamente con un nodo central) y **bus multifunción** (cada componente vuelca su información en una línea común).

c) En tercer lugar, con la CEN-



TRAL DE GESTIÓN el edificio analiza y decide. El "cerebro" del edificio recibe de la red las distintas señales y las decodifica. Pero en un primer paso, esta información es tan sólo un "conjunto de datos" que carecen de significado, a menos que se les relacione con unas "expectativas" y una "intencionalidad".

La información se estructura a través de un **PROGRAMA** que implica: valores de consigna (que predeterminan, para cada variable de información, los valores expectativa), leyes de interrelación (que expresan la influencia mutua de los diversos parámetros individuales), leyes de acción (tipo y signo de la respuesta adecuada a cada desviación detectada), leyes de reacción (cuantificación de resultados, consumos y costes previsibles en cada acción) y la información externa al sistema (coste de recursos, ponderación de criterios, estructuras temporales de uso y estadísticas). Con todo ello la central de gestión decide su **RESPUESTA**.

d) A continuación, utilizando de nuevo las REDES, el edificio res-

ponde. Los mensajes transitan en sentido inverso. Para ello utilizan por lo general la misma red de comunicaciones y la misma estructura de protocolo que mencionábamos en el apartado b).

e) Los destinatarios del caso anterior serán los **ACTUADORES**, con los que el edificio reacciona. Se trata de otro tipo de dispositivos: compuertas, palancas, cerrojos, timbres, servomotores, lámparas, interruptores y válvulas. Estos "órganos motrices" del edificio transformarán la respuesta en acción: crece el flujo de combustible, se apaga la luz, el cerrojo se abre, el timbre suena, etc.

El usuario entonces, podrá desentenderse. Ya no tiene que añadir un nuevo leño al hogar: el **SISTEMA DE CONTROL** lo hará por sí mismo, y si, en última instancia, algo requiere su control le enviará su señal de alarma.

Para mejor entender el papel del control en nuestra arquitectura, también es necesario tener en cuenta la evolución de la propia tecnología de las instalaciones: el uso de combustibles fluidos, la motorización de los esfuerzos mecánicos, la integración de ventilación, calefacción y refrigeración en el concepto de "acondicionamiento ambiental", han dado lugar a la renovación y ampliación de las posibilidades de dichas instalaciones.

Aparte del caso de edificios de uso público, podemos ver como cualquier vivienda actual alberga todo un conjunto de funciones añadidas (electrodomésticos, portero automático, teléfono, televisión, alumbrado, climatización, etc.), de una magnitud y complejidad incomparables a los mayores y más ambiciosos edificios de la antigüedad.

El desarrollo de la tecnología eléctrica ha sido otro factor fundamental en esta evolución. Por un lado, se trata de una "energía fluida", fácilmente transportable a cualquier lugar, limpia en la zona de uso, y capaz de ser transformada en otros muchos tipos de energía apropiados al uso concreto: mecánica, lumínica, química, térmica, etc. Pero además, a partir del descubrimiento del electroimán nos ha dado la posibilidad de actuar instantáneamente y a distancia sobre otros tipos de energía (ignición de combustibles, regulación de fluidos por electroválvulas, modulación telefónica de ondas sonoras, etc.), que es lo que ha permitido dominar la última parte de los sistemas de control, la de la **ACCIÓN**.

La electrónica ha tenido también un doble papel en esta evolución. Por un lado, ha permitido desarrollar nuevas aplicaciones tales como la radio, la televisión, la increíble variedad actual de sensores y actuadores... y, por otro, ha ampliado en volumen, velocidad y complejidad la capacidad de transmitir información de un punto a otro del edificio.

Volviendo al concepto general del control en la arquitectura, la integración de lo múltiple y la interactividad de lo independiente son los

factores básicos en esta concepción.

Entendiendo así un edificio, comienza a tener sentido hablar de la existencia de cierta "inteligencia" en el mismo. A pesar de ello las denominaciones de este estilo pueden ser desafortunadas e inducir a error sobre el sentido real de la arquitectura y su control. La inteligencia básica en la arquitectura será la que se aplique al diseño del edificio, con sus sistemas incorporados de control y no creemos lícito calificar de inteligente una parte del complejo que forma, en definitiva, el espacio que vivimos o padecemos.

**EDIFICIO INTELIGENTE** es la traducción —quizá no demasiado afortunada— del inglés *smart building*. De esta denominación genérica, en paralelo, va desgajándose un nuevo concepto, **DOMÓTICA**, referido concretamente al ámbito de estos sistemas en los edificios de viviendas.

Los anglosajones llamaron a estos edificios *smart buildings* y no *intelligent buildings*. *Intelligent* habría tenido una connotación más cercana a la inteligencia especulativa. *Smart* se traduce también por "inteligente", pero con un sentido más cercano a la inteligencia práctica. En nuestro idioma tal vez hubiese sido más correcta la traducción; "edificio listo" o "edificio ingenioso", aunque quizás esta denominación nos hubiese parecido algo ridícula.

En todo caso, no debemos nunca olvidar que la actuación de los **SISTEMAS DE CONTROL** en los que estamos pensando hoy en día, se basa en un *hard* propio (ordenadores, sensores, redes, etc.) y en un *soft* propio (programación); pero también hay que tener en cuenta que estos

medios de control actúan sobre un edificio y unas instalaciones tangenciales al sistema.

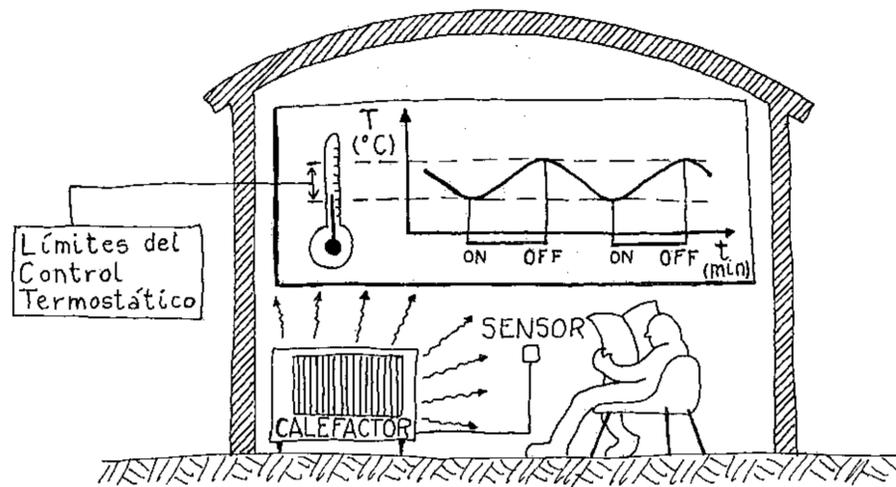
Un *fool building* (edificio tonto) dotado de *stupid installations* (instalaciones estúpidas) sólo podrá prestar servicios limitados y a un coste muy elevado, por muy *smart* que sean sus órganos y programas de control.

La función clásica de la arquitectura como "manejo de los elementos naturales" no ha dejado de ser necesaria. No podemos independizarnos todavía y quizá nunca debiéramos hacerlo por completo. El control de los climas de la arquitectura, hoy como siempre, depende más de sus formas básicas que de las complejidades tecnológicas añadidas.

Pero los **objetivos del control** en la arquitectura pueden ser muy diversos. Los sistemas de control

**automáticos** (sistemas de control abierto) también ahorran esfuerzo físico y, además, esfuerzo mental (toma de decisiones), como el caso de puertas, persianas o lámparas que se abren o se cierran a horas determinadas. Finalmente, los **sistemas cibernéticos**, además de ahorrar esfuerzo físico (normalmente poco) y mental (mucho más), ejercen funciones que podríamos denominar como secretaría permanente. En uno de estos sistemas, se detectan efectos con sensores, se decide en la central de control la acción más conveniente a realizar y se actúa sobre los procesos con los componentes de mando.

En el caso que más nos interesa aquí, de los sistemas ambientales (luz, sonido, clima, ventilación, etc.), se controlan las condiciones de energía del ambiente interior relacionadas con el confort de los ocupantes.



cumplen diferentes funciones, que sustituyen acciones de los seres humanos y esta sustitución se realiza por niveles sucesivos. En este sentido, un **sistema mecánico** únicamente ahorra un esfuerzo físico a los usuarios (ascensores que evitan subir escaleras, fontanería que nos transporta agua, etc.). Los **sistemas**

Al ser procesos complejos, con imprevisibles variables que actúan sobre los resultados (clima, usuarios, etc.), el control se hace a partir de un efecto detectado, con información adicional de otras variables para la toma de decisiones. Por ejemplo, una calefacción se puede controlar con sólo un sensor térmico en

el local, pero normalmente se utiliza también uno de temperatura exterior, para prever mejor las necesidades futuras y también se puede usar uno de presencia humana para ahorrar energía con el local vacío.

En general, estos procesos siguen ritmos de variación lentos, que permiten una respuesta cómoda del sistema de control, pero por otro lado, la falta de uniformidad ambiental en los espacios arquitectónicos a menudo da lugar a que el grado de satisfacción de los usuarios sea bajo. Debe tenerse en cuenta, que la comodidad ambiental en general y la térmica en particular, dependen en gran manera de condiciones particulares, fisiológicas de los usuarios. Con unas condiciones ambientales determinadas, por controladas que estén, siempre se puede dar el caso de que una parte de los ocupantes del espacio esté sin comodidad.

Volviendo a considerar el control en la arquitectura en términos generales, podemos enunciar unos **principios básicos del control**, aplicables para cualquier sistema que estemos tratando. Como hemos visto, cualquier sistema de control en la arquitectura presupone la existencia de un sistema cibernético con un circuito de realimentación (*feed-back*), se tratará de que, con la detección de los resultados de un proceso determinado, se pueda actuar sobre las causas para mantenerlas dentro de unos límites determinados.

Los sistemas controlados presentan siempre una respuesta temporal, lo que significa que, si se aplica una señal cualquiera, variable en función del tiempo, a la entrada de un sistema, éste presentará en la salida

una señal de respuesta relacionada en el tiempo y de forma determinada, con la señal de entrada, que seguirá las variaciones de ésta de una forma diferente y, en general, con un cierto retraso.

En realidad, en los edificios existen muchos sistemas de lazo abierto (automáticos), en los que se ejecuta una determinada acción a partir de un proceso preestablecido (preprogramado), sin circuito de retorno que modifique la acción en función de los resultados. En cualquier caso, los sistemas que comentamos aquí son en la práctica todos de cadena cerrada, sean pasivos o activos, con control humano o no, y todos siguen unos principios básicos similares.

La acción física o trabajo que realiza un sistema de control se puede representar con un modelo matemático, que informa de la relación entre la acción y su resultado. Aunque muchas veces el responsable del diseño arquitectónico de un edificio no conozca los aspectos técnicos de un sistema de control determinado, sería preciso que los comprendiese y decida la señal de consigna que debe aplicar en cada caso. En relación temática indirecta con el modelo de un sistema de control se puede enunciar lo siguiente:

Principio de la transparencia: **En un sistema de control, el componente de interacción con los usuarios y responsables de la acción ha de procurar la máxima transparencia en la reproducción del modelo de funcionamiento y en la comunicación al usuario, para asegurar que un exceso o desorden de información no reduzca la capacidad y precisión de la misma.**

Este es el caso de muchos sistemas de control, en los que el exceso de datos que ha de entender y controlar el usuario hace inoperante la sofisticación del sistema. En arquitectura, donde a menudo la preparación específica de los usuarios es baja, este principio es especialmente importante.

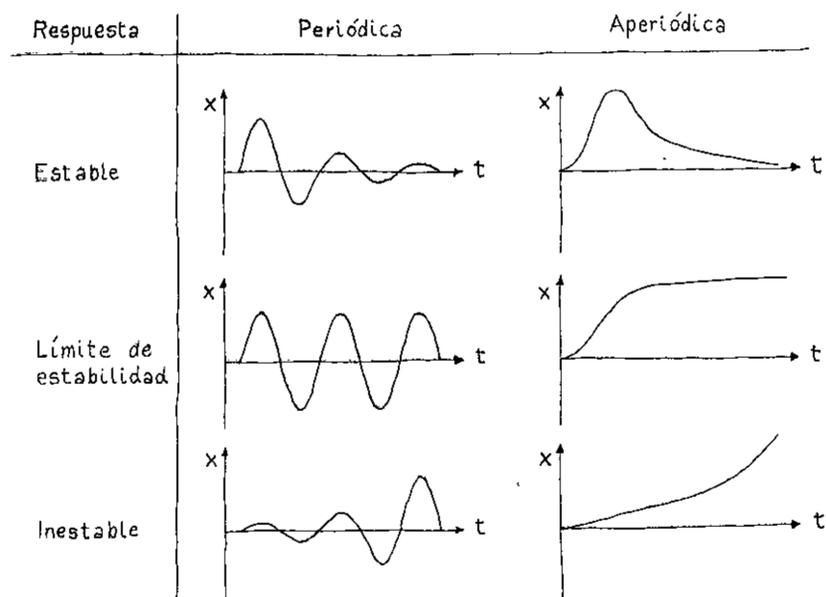
Si consideramos a continuación la **sensibilidad de un sistema de control**, entendiendo con ello la relación entre la variación en porcentaje de una magnitud del sistema y la variación porcentual del parámetro que introduce esta variación, esta sensibilidad depende de la que tengan los diferentes componentes de su cadena de retorno.

Tanto el grado de sensibilidad en la detección del efecto, como la capacidad de la señal de consigna para modificar el proceso, condicionan conjuntamente la sensibilidad global del sistema. En general se deberá tender a optimizar las respuestas transitorias para conseguir el retorno a un régimen permanente en el mínimo tiempo posible, y evitando respuestas inestables que pueden amplificar indefinidamente el descontrol del sistema si entran en resonancia.

Como principio general respecto a la sensibilidad de un sistema de control, podemos considerar el:

Principio de la estabilidad: **En un sistema de control retroactivo los parámetros básicos que hay que optimizar para su buen funciona-**

**miento son los que relacionan la acción sobre las causas mediante la detección del resultado: básicamente la proporción y el retraso de la respuesta.**



La **proporción** de la respuesta se refiere a la magnitud del efecto que se introduce al actuar sobre las causas, siendo crítico que no sea excesiva o demasiado débil.

El **retraso** de la respuesta es el parámetro que condiciona las posibilidades de estabilización rápida en caso de producirse una alteración y que evita también que un retraso excesivo amplifique la oscilación, cosa que sucede cuando la acción en un sentido se produce en un momento en que ya sería necesario que actuase en sentido contrario.

Otro aspecto a considerar es la **estructura de los sistemas de control**, que nos expresa la relación entre sus componentes. Esta relación es relativamente sencilla en un sistema simple realimentado, con detección del efecto  $\rightarrow$  análisis y decisión  $\rightarrow$  acción sobre la causa. En el caso de sistemas complejos, con componentes que actúan en serie o en paralelo,

conectados con diversas causas y efectos de procesos que pueden ser múltiples, la relación de estos componentes del sistema podría significar una estructura mucho más difícil de comprender y de analizar. En estos casos se deben tener presentes algunos principios o leyes, como los que se refieren a la fiabilidad del sistema.

Relacionado con la fiabilidad ( $f$ ) está el **riesgo** de acción incorrecta ( $r$ ); donde:  $r = 1/f - 1$ . Según esta definición el riesgo puede variar entre el valor 0 (sistema con fiabilidad máxima = 1) y valores muy grandes (sistemas de baja fiabilidad). Estos conceptos nos permiten formular las leyes de las cadenas en sistemas complejos:

Primera ley de la cadena: **En un sistema de control, con sus componentes conectados en serie, la fiabilidad nunca puede ser superior a la del componente que la tiene menor.**

Se trata del caso de sistemas en los que los diferentes componentes (de detección, de transporte de la señal, de procesamiento, de interpretación y acción), tienen un grado de fiabilidad dado y donde el punto más débil de la cadena es el que determina la cualidad del sistema global. En este caso la fiabilidad en sistemas complejos tendrá posibles mejoras con el funcionamiento de sus componentes en paralelo.

Segunda ley de la cadena: **En un sistema de control con componentes reiterativos conectados en paralelo, el riesgo total de acción incorrecta disminuye al aumentar el número de componentes, pero en menor proporción de lo previ-**

**sible, al disminuir también la seguridad por exceso de confianza de los usuarios.**

En el caso de que los usuarios no perciban la seguridad del sistema, dicha disminución de seguridad no se producirá.

Como conclusión general respecto a la estructura de los sistemas, se puede afirmar que, al aumentar la complejidad de los mismos, debe asegurarse la reducción del riesgo con el mantenimiento homogéneo de la fiabilidad de los componentes y con el uso de componentes en paralelo en los que el factor de exceso de confianza no aumente el riesgo total.

Otro aspecto a considerar será la **Tipología según la técnica utilizada**, como se trata en este momento de una tecnología en crecimiento, se prevén evoluciones rápidas en un próximo futuro, posiblemente con grados de automatización y globalización cada vez mayores, hasta que lleguen a integrarse en sistemas complejos todos los tipos de control posibles en la arquitectura. En este camino se adivina la necesidad de plantear, ya en este momento, el control global. Un sistema global de control en la arquitectura consiste en un sistema único que gobierna simultáneamente todos los componentes y sistemas del edificio susceptibles de ser actuados, detectados y comunicados.

La agrupación de equipos automatizados bajo un controlador central es la base de un sistema global de gestión. Normalmente se tiende a clasificar diferentes ámbitos dentro del conjunto del sistema de control, asociando entre sí componentes y subsistemas de cada uno, como pue-

den ser: gestión **técnica** (ambiental, de servicios, de seguridad del edificio, etc.), gestión **administrativa** (comunicaciones, finanzas, sanidad, etc.) y gestión **cultural y de ocio** (educación asistida, bases de datos, juegos, etc.).

La aplicación en la arquitectura de estos sistemas con la integración interactiva de todos los controles posibles en los edificios, puede tener consecuencias positivas tanto de tipo **sociológico** como de tipo **ecológico**. Pero a la vez, los sistemas de alta tecnología utilizados pueden promover la aplicación de sistemas de control ambiental y de servicio con alto consumo de energía artificial, además con una relación con los usuarios poco eficiente, aspectos que a la larga representan consecuencias contrarias a las que se deberían favorecer. En el límite, un control manual de un sistema de persianas puede ser mucho más eficiente, energéticamente hablando, que un complicado sistema de climatización.

Además, a pesar de que los mismos sistemas de control son bajos consumidores de energía, por su propia estructura técnica, esta ventaja no debe perderse con el uso irreflexivo de sistemas artificiales de control ambiental y de servicio. En este caso, paradójicamente, el control activo debería favorecer el uso de sistemas pasivos de control ambiental.

Otra reflexión es la del papel que puede implicar la existencia de estos sistemas en el diseño arquitectónico. La introducción de "las máquinas" en la arquitectura, hace ya dos siglos, no significó un cambio cons-

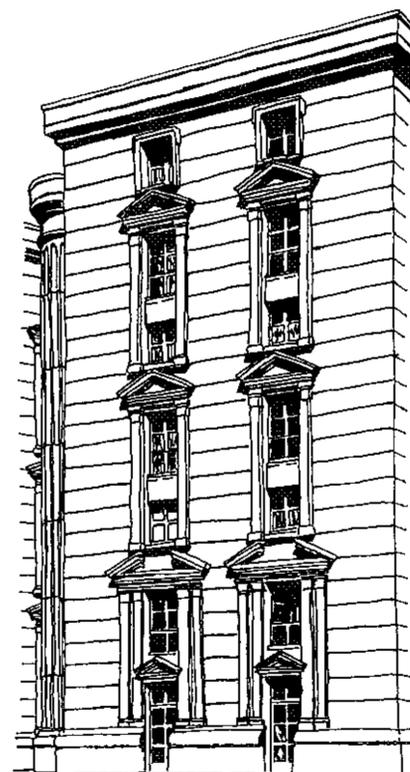
ciente en la apariencia formal de los edificios, a pesar de las implicaciones de ocupación de espacios y elementos presentes en los ambientes interiores que las nuevas técnicas significaban.

De la misma forma hoy, con la incorporación de nuevos sistemas de control, a pesar de que pueden cambiar radicalmente las formas de vida en todos los edificios, nos tememos que todavía se producirán cambios menores en los proyectos de los arquitectos. Debe tenerse en cuenta que el control global prácticamente no ocupa espacio, se puede esconder con facilidad y resultar irrelevante.

Históricamente, la técnica en la arquitectura, como ha sucedido en otros campos de la cultura, ha seguido la tendencia al estancamiento que se produce cuando por principio se rechaza cualquier innovación radical. La arquitectura de hoy, en esencia, es la misma que se construía hace muchos siglos, y aunque se hayan incorporado nuevas técnicas en los edificios, casi siempre se ha hecho escondiéndolas, disimulando los nuevos sistemas bajo elementos de apariencia convencional.

Por desgracia, los ejemplos que se presentan adjetivados como edificios inteligentes no son más que reproducciones miméticas de estilos o pseudoestilos arquitectónicos ya existentes, con los añadidos de unos controles limitados. Se continúa escondiendo, se podría decir que vergonzosamente, la existencia de los sistemas técnicos que controlan y, por descontado, de los componentes de control. El edificio continúa aparentando que funciona como en el

siglo XVIII, aunque esté relleno de tubos y conducciones en su interior.



Por otro lado, los enfoques actuales del diseño arquitectónico, y en especial en edificios técnicamente más avanzados, tratan la relación con el entorno como una relación de oposición. Se crean así barreras respecto a los agentes climáticos (sol, viento, etc.) para evitar cualquier perturbación del ambiente artificial y las nuevas técnicas electrónicas se limitan, erróneamente, a controlar sofisticados sistemas que generan este ambiente artificial. Aunque sea una forma de actuar más cómoda, las consecuencias son pésimas, tanto desde el punto de vista medioambiental, como para el confort de los usuarios e, incluso, para la misma estética arquitectónica.

Contra estos hechos propondríamos una arquitectura que desde el inicio de su concepción, incorporase todas las posibilidades técnicas de hoy en día. Debería ser una archi-

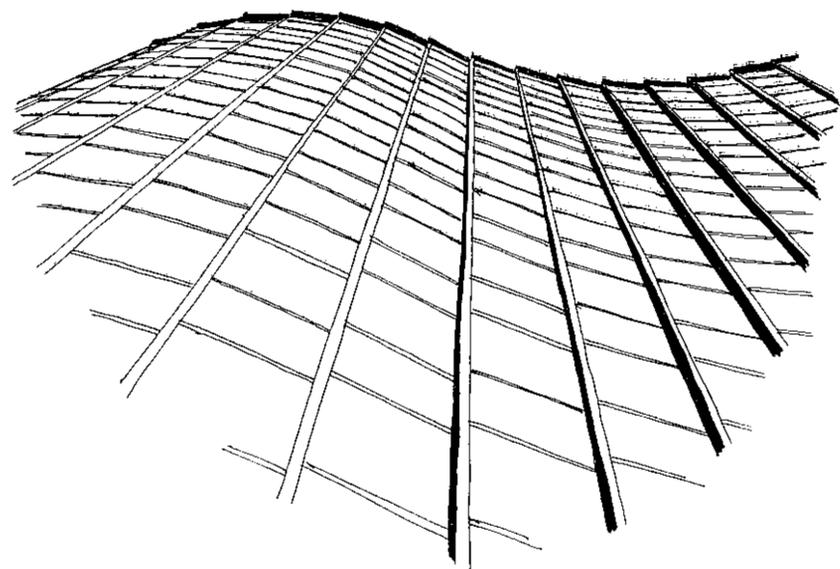
tectura que aprovecharse la existencia de los agentes ambientales naturales para su mejor funcionamiento y, a la vez, los relacionase con los más complejos sistemas de control, para así regular sus condiciones ambientales interiores de acuerdo con las necesidades y los deseos de los usuarios. Se deberían evitar las condiciones artificiales estáticas para introducir una variedad temporal más confortable, obtener un bajo consumo energético con una sabia utilización del clima natural, etc. Sería una arquitectura que, incluso, podría "aprender" y reproducir posteriormente ciertas pautas en su actuación para mejorar su eficacia.

La electrónica de hoy en día permite desarrollar dispositivos, componentes y circuitos que controlen funciones de alto grado de complejidad, cosa que no se ha explotado todavía para aplicaciones de ahorro energético aprovechando los agentes del medio natural.

Una vez más debemos recordar como cualquier avance que en nuestra civilización ha servido para ahorrar esfuerzo humano, se ha convertido con frecuencia en una mayor imposición coartadora del grado de libertad de los individuos. En nuestro caso existe así un claro peligro que ya se evidencia en muchos edificios modernos.

La aplicación de sofisticadas soluciones tecnológicas deriva hacia los sistemas de control la decisión sobre las condiciones, ambientales o no ambientales, del espacio interior de la arquitectura. Así, el individuo se encuentra inmerso en un entorno que ya no es incontrolado, pero que no es controlable por él. Las ventanas

impracticables de cualquier edificio moderno de oficinas son un ejemplo paradigmático de esta situación.



Si pensamos además en el caso, por desgracia frecuente, seguramente imposible de evitar por completo, de la posible avería del sistema de control o de la instalación asociada, esta falta de libertad del usuario se convierte en mucho más crítica todavía.

Quizás hay que recordar que el verdadero control no es el que priva a los usuarios del poder de decisión, sino que es el que les permite decidir mejor y con más comodidad, cosa que está muy lejos de la realidad de muchos edificios actuales.

El gran reto que creemos que tiene la arquitectura en el inicio del nuevo siglo es el de concebir y formalizar un nuevo concepto de edifi-

cio, más allá de la pura forma de la materia, aunque ésta esté cargada de significados. En este concepto la

arquitectura debiera convertirse en un delicado juego de energías ambientales en estrecha relación con sus usuarios, libre de las esclavitudes de sistemas cerrados en sí mismos que no permiten la iniciativa individual y en armonía con un medio ambiente que obligadamente deberemos concebir como evolución,

esperemos que positiva, de un entorno natural que ya no es el que era.

Por todo ello, si los arquitectos no nos queremos encontrar una vez más fuera del juego de la propia cultura en que vivimos, deberíamos aceptar el papel activo que la técnica actual puede tener en la arquitectura. Deberíamos replantear de una vez el concepto de forma construida e incorporar el espacio energético al vocabulario arquitectónico, aprovechar las posibilidades integrales de los sistemas de control con una definición dinámica de los ambientes y, sobre todo, librarnos del cerramiento ideológico que sólo nos permite trabajar con la geometría de la materia.

## Otras culturas, otros climas

Hasta aquí hemos analizado los climas de la arquitectura según una visión particular, la de la cultura occidental industrializada en la que estamos inmersos. En este recorrido hemos hecho especial hincapié en los temas relacionados con la sensación térmica, que a través de los fenómenos radiantes, resultan estrechamente ligados con los fenómenos visuales, aunque en el primer caso predominan los aspectos de bienestar, mientras que en el segundo predominan los perceptivos. También hemos incluido, como si fuera otro fenómeno climático, el incabable campo de la acústica, que resulta sobre todo perceptivo, pero que está ligado íntimamente al bienestar por la importancia que en el sonido tienen los aspectos inconscientes de dicha percepción.

Por último, después de comentar todos estos climas, hemos intentado plantear los principios de su control en la arquitectura, ligando con ello las técnicas que desde siempre han hecho flexibles los edificios, con la modernidad tecnológica del chip y el control artificial de la luz, del calor y del sonido.

Pero después de todo, separadamente considerados o en conjunto, luz, calor y sonido son fenómenos cuya existencia e importancia están aceptados por nuestra sociedad. Sus

valores son medibles, aunque a menudo esto se hace muy mal. Sus tecnologías son conocidas y tenemos una cierta fe en su funcionamiento, aunque con frecuencia nos decepcionen los resultados de las técnicas que utilizamos.

Totalmente distinto es el caso de otros fenómenos ambientales, calificables quizá de inmedibles y con un componente de misterio, magia o engaño, que han sido muy importantes en otras culturas y que, todavía hoy, se discuten y se aplican en algunas zonas del mundo o en algunos sectores contraculturales de nuestra propia sociedad.

Uno de los ejemplos más interesantes y que mantiene una estrecha relación con la arquitectura, es el de la ciencia china del Feng Shui, palabras que literalmente significan "viento y agua". En esta antigua ciencia se estudia la relación con el hábitat humano de las características de un lugar, apoyándose en su topografía y su hidrografía, pero también en otras consideraciones mucho menos perceptibles.

Las explicaciones del Feng Shui en la evaluación de un lugar, parten de conceptos espiritualistas, donde se trata de la armonía con el universo y de la "energía" latente en todo lo presente. A partir de aquí trabaja con bellas analogías, difícilmente tradu-

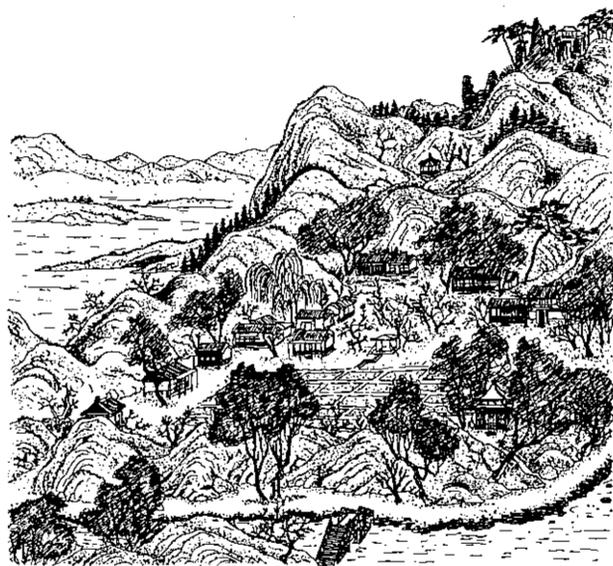


cibles, de dragones, tigres y serpientes, puntos armónicos donde la "energía" es positiva y corrientes nefastas que, convertidas en peligrosas "flechas secretas", agreden a los edificios y a los seres humanos que en ellos habitan.

En la elección del buen emplazamiento y adecuada disposición de los espacios de la arquitectura en el lugar, radia la gran sabiduría del Feng Shui, quedando relegadas a segundo término otras consideraciones que en nuestra cultura occidental pensamos que son las más importantes para la arquitectura. En este sentido es interesante y estimulante observar cómo se prima la elección del lugar sobre la de la forma y materiales de los edificios, como una "contrapropuesta" de lo que venimos haciendo en nuestro entorno cultural.

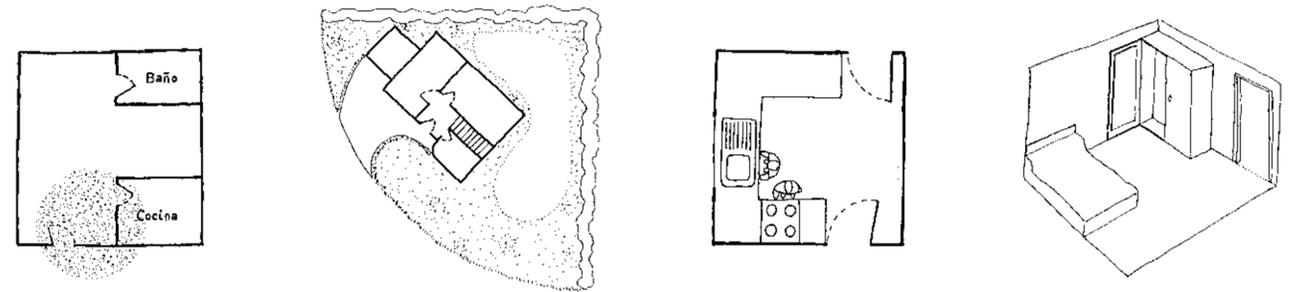
Todas estas teorías del Feng Shui, o de otras aproximaciones no convencionales similares, respecto al ambiente de la arquitectura, nos pueden parecer elucubraciones sin sentido, paganas creencias de civilizaciones primitivas o, incluso, invenciones delirantes de aventureros aburridos. Sin embargo, aparece la sorpresa cuando analizamos las soluciones que proponen los expertos del tema, simplemente valorando dichas soluciones y prescindiendo de las teorías que las justifican.

En cuanto a la ubicación del hábitat, por ejemplo, las situaciones que se recomiendan en relación a la topografía y los cursos de agua, acostumbran ser las mejores, climáticamente sobre todo, pero también desde otros conceptos funcionales. Lo mismo ocurre al recomendar posiciones sobre el perfil de un terreno, donde incluso resulta que se eligen las que mejor se insertan estéticamente en el paisaje, rechazándose otras que lo perjudican.



A escalas más próximas, las recomendaciones pueden parecer más triviales o anecdóticas, pero continúan suponiendo una alta dosis de

practicidad y son favorables para el funcionamiento ambiental. La disposición de aberturas en un local, por ejemplo, o los accesos de las vi-



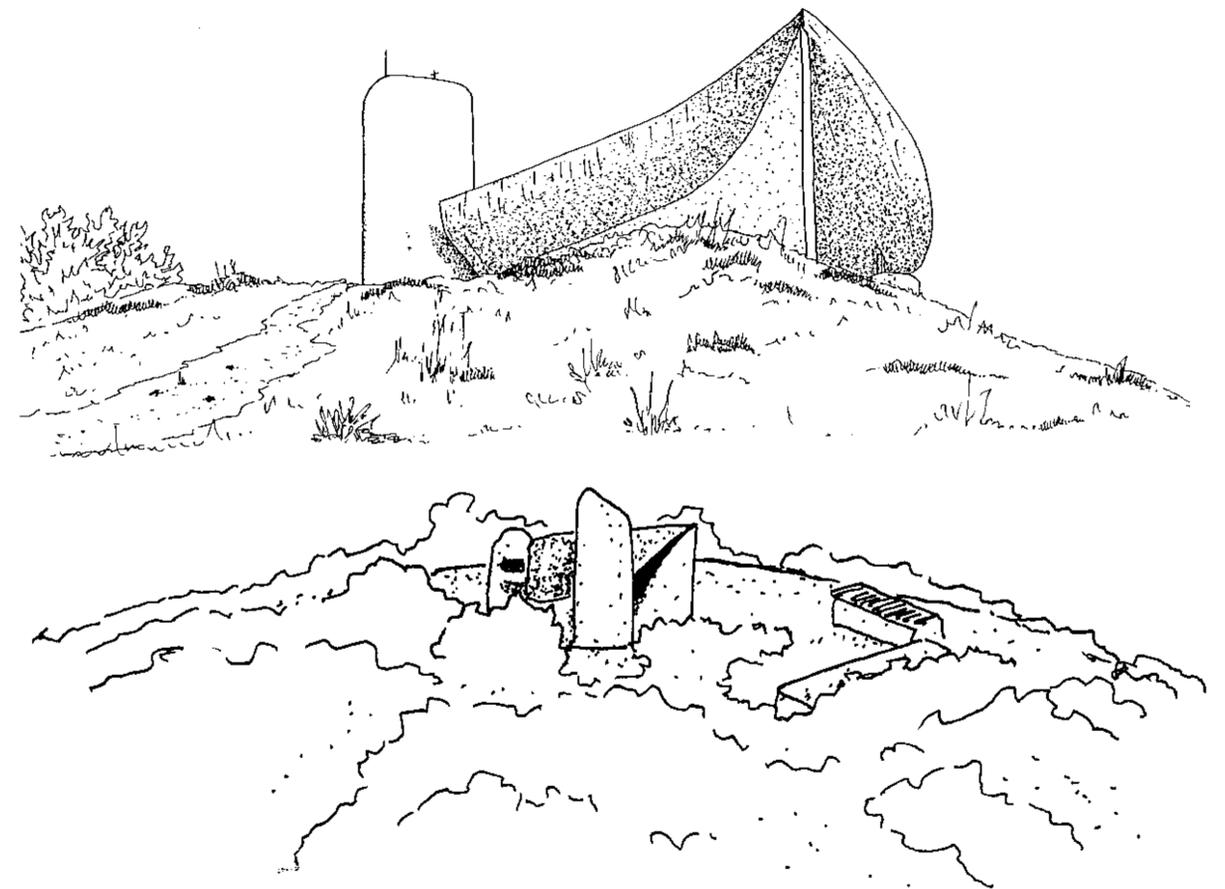
viendas, significan soluciones eficaces desde el punto de vista térmico y permiten un control adecuado de las ventilaciones y vistas en invierno y verano.

De la misma forma, las estrategias que se proponen respecto al uso de la luz natural, así como las técnicas de uso de vidrios y espejos, agua y vegetación, concuerdan, no sólo con sentido común, sino también con algunas de las modernas teorías o

descubrimientos de nuestra cultura técnica occidental.

Otras culturas distintas de la nuestra tienen también otras formas de

concebir y de valorar el ambiente de la arquitectura, coincidiendo en muchos casos con el Feng Shui en la valoración de un lugar a través de acciones y flujos energéticos que se establecen entre la tierra y el cielo. Según estas formas de pensamiento, sobre la superficie de la tierra existen lugares positivos o negativos, receptores o emisores de estas energías inmedibles, que hacen agradable o desagradable un lugar.



Según esto, el ser humano ha perdido la sensibilidad consciente hacia estas influencias, que ya eran conocidas por los hombres primitivos cuando levantaban sus monumentos megalíticos, situados en puntos estratégicos como conexiones entre la tierra y el cielo. Estos puntos singulares han sido utilizados, a lo largo de la historia de la humanidad, para la edificación de monumentos de todo tipo, que a veces sobreponen sus cimientos a través de razas y culturas sucesivas.

Es posible que de estas técnicas sólo haya llegado hasta nosotros la radioestesia, con la que los expertos encuentran masas minerales o caudales de agua subterránea ocultas. En cualquier caso, existen sugerentes analogías entre las técnicas de la acupuntura y las teorías que entienden al planeta como un ser viviente (Gaia), en el que los menhires serían sutiles agujas situadas en los puntos críticos de su piel.

Se podrá argumentar que todas estas teorías no son más que un ropaje que adorna un "saber hacer arquitectura" aprendido a través de los siglos, y quizá sea verdad. Sin embargo, en cualquier caso se trata de soluciones que funcionan según los principios que nosotros conocemos; si además funcionan también para otros parámetros ambientales que, hoy por hoy, no sabemos medir y ni tan sólo reconocer su existencia, pues tanto mejor. Una vez más, lo importante no debe ser disponer de la verdad absoluta, sino tener sistemas coherentes que permitan diseñar una arquitectura más bella y más cómoda.

En esta tesitura y faltos de ins-

trumentos y métodos científicos que permitan contrastar la realidad de estos fenómenos, lo más fácil resulta considerarlos como inexistentes y prescindir de ellos en la arquitectura. Pero con eso estaríamos repitiendo una actitud que adoptamos muy a menudo frente a cualquier problema: ignorar aquello que no sabemos medir, lo cual resulta muy peligroso. Tengamos en cuenta que, incluso en fenómenos muy conocidos, nos dejamos llevar por esta actitud que conduce al fracaso. Recordemos, por ejemplo, cómo evaluamos la iluminación de un espacio a través de un solo parámetro, la iluminancia en luxes que resulta no sólo insuficiente, sino además equívoco, y esto lo hacemos, simplemente, porque resulta más difícil medir las luminancias (claridades) que nuestros ojos ven en un espacio determinado (ver el clima de la luz y el del sol).

La solución general para estos casos ya la hemos apuntado, todos los fenómenos que intervienen en el ambiente arquitectónico deben ser valorados, aunque no puedan ser medidos. En muchos casos bastará aproximarse conociendo el sentido en que opera el fenómeno y su orden de magnitud, sin necesitar una parametrización exacta. Creemos que con esta actitud, los resultados siempre serán más apropiados que los obtenidos ignorando simplemente el fenómeno.

Sin embargo, aplicar este tipo de valoración a los fenómenos que estamos tratando, continúa siendo difícil. Se trata de manifestaciones que no registramos conscientemente, muchas veces son unas impresiones vagas, un malestar que atribuimos a

otras causas, o una euforia que recibimos sin preguntarnos por qué. Todo ello son sensaciones que notamos en la arquitectura, como si se tratase de fenómenos naturales que la arquitectura misma corrige y matiza. ¿Quién no ha sentido, al visitar Ronchamp, enclavado en un paraje ancestralmente mágico, sensaciones que van más allá de las que la escultura de forma y luz de Le Corbusier provoca?

En cualquier caso, intuimos algunas tendencias generales: la opresión de las montañas, el dinamismo del agua corriente, las tensiones de los campos electromagnéticos que generan las líneas eléctricas de alta tensión, la presión psicológica de las aglomeraciones urbanas, el recogimiento de la vegetación frondosa, etc. Todas ellas únicamente son tendencias, pero en contra o a favor de las mismas, podemos actuar con los recursos arquitectónicos de siempre: barreras, conectores o filtros, que añadiremos a la elección de la ubicación, la orientación y a la corrección del entorno ya tratados para otros fenómenos. La acción de las barreras podrá canalizar o rechazar estas influencias, en una actuación parecida a la que realizamos con el sonido o la radiación.

A partir de aquí, tenemos además otra herramienta para la valoración de la arquitectura frente a las energías inmedibles y aunque fuera ingenuo, se trata de una herramienta muy ligada con la estética. Paradójicamente, en alguna de estas culturas se niega el concepto de "bonito o feo", entendiendo que sólo existe lo favorable o lo desfavorable, pero nosotros creemos que, precisamente con

la estética tenemos la herramienta con la que se puede evaluar, hasta cierto punto, este tipo de fenómenos en la arquitectura.

La armonía es un concepto sutil, ligado a modas y costumbres y variable en las distintas culturas, pero, a pesar de todo, existen reacciones frente al entorno que son generalizables y que compartimos con nuestros semejantes cuando dejamos de lado valoraciones realizadas según nuestros prejuicios culturales. Si contemplamos la arquitectura con un punto de vista estético y tratamos de identificar su armonía, tanto la interna como respecto al entorno, quizá dispondremos de esta herramienta que nos ha de permitir integrar los "otros climas" con los ya conocidos.

Partiendo de este supuesto, incorporaremos el juicio estético en el ejercicio de proyectación ambiental. Intentando que la luz, el calor o el sonido resuenen armónicamente en el interior de todos nuestros edificios, sino procurando que, desde su implantación en el lugar hasta sus acabados, exista armonía de dicho edificio con su entorno y con su propio funcionamiento. Esto no implica utilizar forzadas adaptaciones a materiales o formas constructivas locales, muchas veces remanentes de formas sociales y técnicas constructivas hoy inexistentes, sino algo más delicado, recuperar la actitud sensible respecto al lugar desde donde la arquitectura se sitúa, en lugar de concebirla como algo abstracto, que comienza y acaba en el papel en que se proyecta y en el que se reproduce como fotografía.

Como la estética es y será siempre un concepto de difícil precisión,

resulta imposible reconvertir esta regla general, que hace referencia a los "otros climas" de la arquitectura, en recomendaciones concretas o soluciones típicas, tal como se hace con

otros aspectos ambientales. El ejercicio de la arquitectura no ha sido ni será nunca totalmente parametrizable; quizás ahí radica su trascendencia que supera el paso del tiempo.

## Colección GG Básicos

arquitectura y climas      Rafael Serra  
arquitectura y crítica      Josep Maria Montaner  
arquitectura e informática      Pierre Pellegrino/Daniel Coray *et al.*

**Rafael Serra** es arquitecto y catedrático por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Autor de diversas obras de arquitectura, centra sus investigaciones en el control ambiental en la arquitectura (clima, acústica y luz) tanto por medios naturales (bioclimática, energías renovables, luz natural) como por medios artificiales (aire acondicionado, calefacción, electroacústica, alumbrado). Es director del programa de doctorado Ámbitos de Investigación en la Construcción y la Energía en la Arquitectura.