

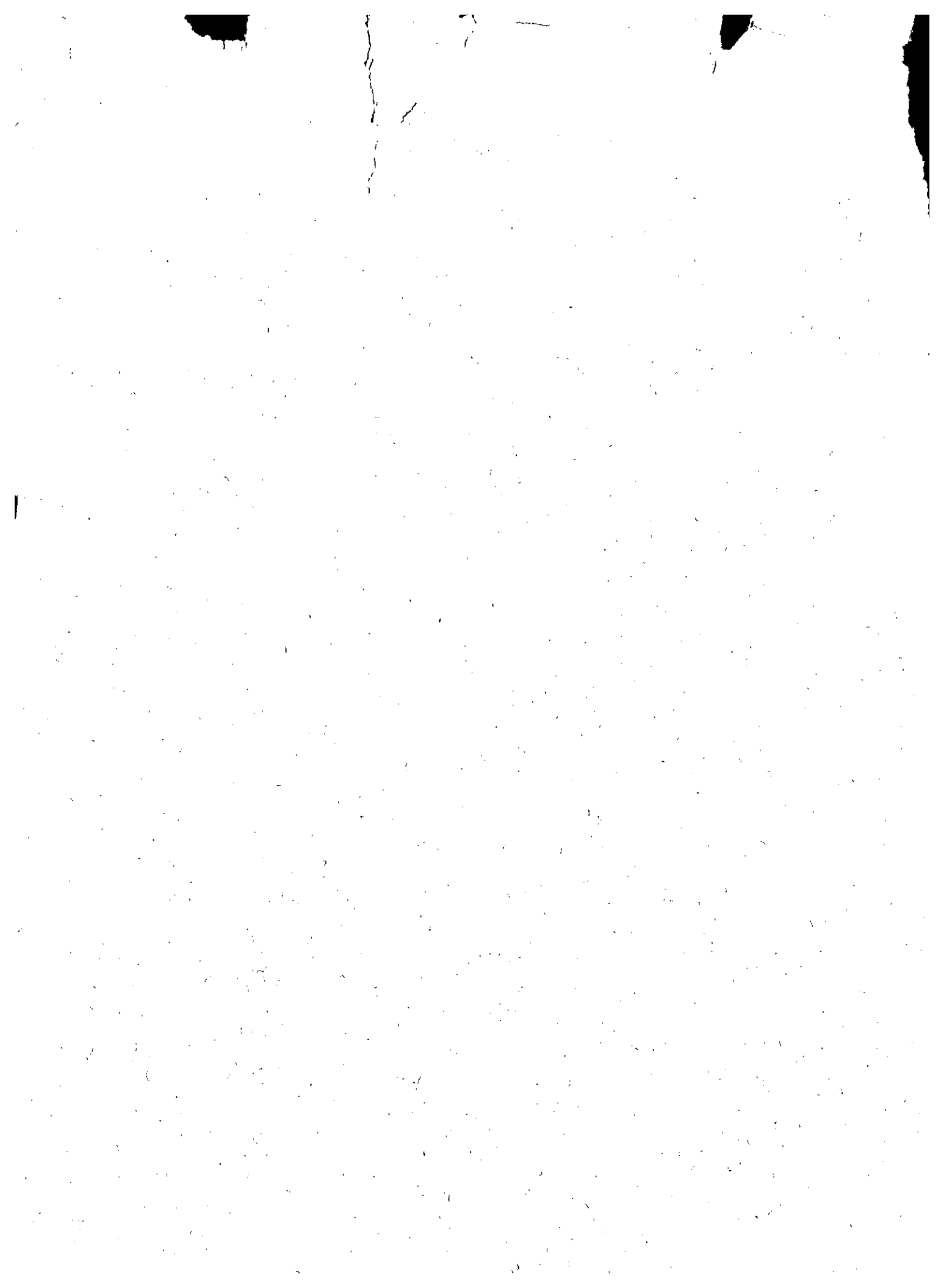
GOBIERNO DE RECONSTRUCCION NACIONAL DE
LA REPUBLICA DE NICARAGUA

COLISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA
EL DESARROLLO
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL MEDIO AMBIENTE

LIMITADO
CEPAL/MTX/SEM.3/5
31 de octubre de 1980

Seminario de Tecnologías Apropriadas
para los Asentamientos Humanos
Managua, Nicaragua, 3 a 15 de noviembre de 1980

BIOClima Y DISEÑO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS EN ZONAS CALIDAS



INDICE

	<u>Página</u>
Introducción	1
I. Clima; bioclima: Aspectos generales	3
II. Termofisiología del cuerpo humano	5
1. Aspectos cualitativos: temperatura	5
2. Aspectos cuantitativos: cantidad de calor	5
3- Intercambio térmico global del cuerpo con su entorno	7
a) Conducción	7
b) Convección	7
c) Radiación	7
d) Evaporación	8
4. Recursos de termorregulación	9
a) Grado de sudoración	10
b) Flujo de circulación subcutánea	10
c) Ritmo cardíaco	10
d) Ritmo respiratorio	10
e) Intensidad de la actividad muscular involuntaria	11
f) Modificación del apetito	11
III. Las sensaciones de confort/malestar térmicos	13
1. Detección de las variables pertinentes	13
2. Medida de las variables bioclimáticas básicas	14
a) Temperaturas y radiación	15
b) Humedad	16
c) Movimiento del aire	18
3. La ropa como factor de mediación	19
4. El proceso de aclimatación	21
5. Intereses y tendencias en los estudios bioclimáticos	22
6. Índices termofisiológicos de "stress" térmico	25
a) Intercambio "seco" y evaporación requerida	25
b) Capacidad evaporativa	26

	<u>Página</u>
c) Índice de esfuerzo frente al calor	27
d) Ejemplificación	27
e) Índice de sudoración	30
7. Índices termopsicológicos de "confort térmico"	31
a) Temperatura efectiva	31
b) Zona de confort	34
c) Ejemplificación	35
d) Cartas bioclimáticas	38
8. "Crítica de la bioclimatología política"	38
IV. Determinaciones macroclimáticas	42
1. La atmósfera terrestre	42
a) Composición	42
b) Presión	42
c) Temperatura	43
2. Soleamiento: movimiento aparente del sol	45
a) Movimientos relativos del sol y de la tierra	45
b) Movimiento aparente del sol	52
c) Cartas solares	58
d) Métodos numéricos	62
e) Proyección gnomónica	63
f) El heliodón	66
g) Obstrucciones solares	66
3. Soleamiento: la radiación solar	71
a) Radiación que recibe la atmósfera	71
b) Comportamiento de la atmósfera frente a la radiación	72
c) Comportamiento de la superficie terrestre frente a la radiación	75
d) Balance planetario de energía radiante	77
e) Insolación	80
f) Insolación y climas	86

	<u>Página</u>
V. Elementos del clima	88
1. Masas de aire; masas de agua	88
2. Humedad y temperatura como factores de estabilidad e inestabilidad del aire	89
3. Movimientos del aire	90
4. Condensaciones y precipitaciones	91
5. Tipología de climas	95
6. Clima, mesoclima y microclima	98
7. Datos meteorológicos y clasificaciones climáticas para el ecodiseño	104
a) Clima oficial y clima vivido	104
b) Clasificaciones climáticas para el ecodiseño en regiones tropicales	105
VI. Diseño bioclimático de asentamientos humanos: aspectos generales	108
1. Diseño y sociedad	108
2. Las determinaciones de los diseños	110
a) Delimitación de espacios	111
b) Valor del entorno como producto económico	111
c) Dimensión simbólica del entorno físico	111
d) Mediación bioclimática del entorno construido	111
3. Hacia una transformación de la práctica del diseño	112
4. La crisis y las salidas	113
5. Estrategias globales de diseño bioclimático	116
a) Modelos tipológicos/morfológicos urbanos	116
b) Estrategias en función del tipo climático global	120

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Gráfico en que se relacionan los valores de la temperatura seca (coordenadas verticales), humedad relativa (curvas) y la temperatura húmeda (coordenadas oblicuas)	17
2	Gráfico para el cálculo directo de la TEC, a partir de TS, TH y V	32
2a	Gráfico que indica la TEC considerada como confortable en función del nivel de actividad física que se desarrolle	33
3	Régimen anual de temperaturas en Chinandega, Nicaragua	37
4	Carta bioclimática (adaptada de Olgay, 1963)	39
5	Las capas atmosféricas	44
6	Movimiento de la tierra en torno al sol	47
7	Representación geométrica de la declinación	49
8	Equinoccios de primavera y otoño	50
9	Solsticio de verano	51
10	Solsticio de invierno	53
11	El modelo de la esfera celeste	54
12	El modelo de la esfera celeste: corte por el meridiano de un lugar P	56
13	Azímüt (z)	57
14	Altura (h)	58
15	Carta solar para la latitud de Monterrey, Nuevo León, México (25°35'N)	60
16	Determinación de las coordenadas solares	61
17	Lugar geométrico de las sombras de la punta del gnomon	64
18	Reloj de sol universal	65
19	Esquema de heliodón	67
20	Carta solar cilíndrica	69
21	Estudio de obstrucciones solares en cartas cilíndricas	70
22	Haz de rayos que inciden oblicuamente sobre un plano	71
23	Radiación espectral estándar, NASA (1971), a la distancia media tierra-sol, para un valor de la constante solar de 1 353 W/m ²	74

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
24	Balance energético entre el espacio exterior, la atmósfera y la superficie terrestre, adaptado de Neiburger <u>et al</u> (1971)	78
25	Factor masa de aire	81
26	Coeficiente en función de la altura del sol y de la altitud sobre el nivel del mar	85
27	Radiación anual media, en kCal/cm^2 (según Budyko, 1956)	87
28	Diagrama esquemático de la estructura global de flujos	92
29	Brisas del mesoclima costero	99
30	Efecto de una barrera orográfica en un flujo	100
31	Mesoclima de Valle: movimientos cíclicos de aire	101
32	Isla de calor y contaminación sobre una zona urbana. Representación del movimiento convectivo del aire	103
33	Evaluación de Phoenix, Arizona (U.S.A.). Transcripción bioclimática de los datos meteorológicos	105

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
1	Producción de calor metabólico en función de la actividad del individuo	6
2	Cuantificaciones para el factor de arropamiento	20
3	Implicaciones fisiológicas e higiénicas de una exposición de ocho horas de duración a diferentes índices de esfuerzo térmico	27
4	Espectro electromagnético	73
5	Tabla de valores	84
6	Clasificación climática de Köppen	97
7	Características de los tipos de clima	107

INTRODUCCION

La especie humana no sólo se asienta sobre la superficie de la corteza terrestre, sino que se ubica también en el fondo de un "océano" atmosférico de cuyas condiciones físicas depende el desarrollo de sus actividades. La atmósfera constituye un elemento fundamental, aunque frecuentemente olvidado, del medio ambiente humano. El reciente deterioro acelerado de ese medio ambiente, especialmente acentuado en las áreas urbanas y en las zonas industriales, ha determinado el surgimiento de una conciencia ecológica de la cual forma parte la preocupación por la dimensión climática de los procesos de diseño de los asentamientos humanos. Esta preocupación implica un redimensionamiento del papel social del diseñador, especialmente del arquitecto, a quien la evolución social está exigiendo un mayor énfasis en la imaginación de soluciones para los problemas ambientales de las grandes masas, dejando de lado su campo de acción tradicional, centrado principalmente en la resolución de las demandas de producción simbólica de las clases dominantes.

El conocimiento básico de las condiciones atmosféricas a gran escala, se ha desarrollado históricamente sobre todo en función de las necesidades de la agronomía y, más adelante, de las comunicaciones también.

A escala del microclima, la motivación de los incipientes estudios bioclimáticos derivó del afán de incrementar la productividad humana y, concretamente, la tasa de explotación. Hasta fechas recientes, muy poco se conocía de la correlación entre las condiciones climáticas, naturales o artificiales, la configuración de los asentamientos humanos y la sensación, variable y subjetiva, de confort. Este era, y en gran medida todavía es, un ámbito de conocimientos ausente de los contenidos curriculares propios de la formación de arquitectos e ingenieros, a pesar de la obvia relevancia social que presenta la problemática aludida en la medida en que podría incidir en la vivencia cotidiana de las grandes masas, mejorando su "calidad de vida". Nuestro entorno construido, especialmente en América Latina, es hoy sumamente deficiente en lo que respecta al control climático. Las causas de esta disfuncionalidad, repetidamente constatada, son múltiples y, en última instancia, de índole socioeconómica y política. El presente

/trabajo

trabajo intenta contribuir a subsanar una de las causas de la mencionada disfuncionalidad climática, aquella que radica en el común desconocimiento del tema por parte de los técnicos que se insertan en el proceso de diseño de los asentamientos humanos.

I. CLIMA, BIOCLIMA

Aspectos generales

El clima es uno de los factores que afectan más directamente al confort del hombre, a sus condiciones de trabajo y de ocio, en definitiva, a su salud.

Llamamos clima al proceso que resulta de la interacción (en términos de masa y/o energía) entre la superficie terrestre y la atmósfera, determinado por el desigual reparto de la energía solar que recibe nuestro planeta.

El clima es algo más que una media estadística de condiciones atmosféricas: los extremos alcanzados por las distintas variables, los repartos estadísticos y las tendencias de variación son aspectos que intervienen igualmente en la caracterización del clima.

En su raíz etimológica griega, "clima" se refiere a una inclinación, la de los rayos solares respecto a la superficie terrestre. Desde su origen pues, el concepto de clima está emparentado con el de "latitud".

Atendiendo a la escala de los fenómenos que se estudian, se hablará de "macroclimas" y de "microclimas", estos últimos referidos a las muy concretas condiciones locales que, a veces, pueden modificar sustancialmente las situaciones atmosféricas imperantes a gran escala.

La climatología es la ciencia que se dedica al estudio del clima y de sus efectos en general.

La meteorología se ocupa más bien del cambio cotidiano de las condiciones atmosféricas, desde el punto de vista de sus causas físicas.

El interés de este trabajo se centrará en las condiciones atmosféricas, pero sólo en la medida en que incidan directamente en el funcionamiento objetivo y subjetivo del individuo humano, entendido como sujeto social.

Para abordar el tema de la dimensión bioclimática del diseño de los asentamientos humanos se necesita un enfoque forzosamente multidisciplinar. Los fenómenos a estudiar presentan facetas que van desde lo puramente físico hasta lo antropológico y cultural. El análisis de los hechos físicos y de los contenidos de conciencia con los que aquéllos se relacionan requiere de la intervención alternativa y, con frecuencia, conjunta de las disciplinas adscribibles tanto al ámbito de las ciencias naturales como al de las sociales.

/Aunque

Aunque por razones analíticas se tengan que considerar algunas variables por separado, conviene no olvidar nunca que la respuesta humana frente a su medio ambiente es de naturaleza global.

El último objetivo a alcanzar por medio de estos estudios se podría formular como la consecución, para los habitantes de los asentamientos humanos, del máximo confort compatible con el grado de desarrollo de las fuerzas productivas, mediante la utilización de un mínimo de recursos.

El concepto de confort va más allá de la simple ausencia de notorias disfuncionalidades climáticas; se puede no obstante precisar en el sentido más estrecho, de "confort térmico". Las reacciones frente a una situación climática concreta varían bastante de un individuo a otro. Entre los principales factores que intervienen se podrían citar la constitución física, la edad, la dieta, el grado de aclimatación, y las influencias culturales.

La especie humana se ha ido adueñando del planeta gracias a su impresionante capacidad de adaptación a los cambios, en particular, climáticos. Es, sin embargo, urgente precisar los límites biológicos de esa capacidad.

Recuérdense los tres principales problemas bioclimáticos que puede experimentar el organismo humano:

- a) Problemas de respiración; composición alterada del aire (mezcla contaminada, presencia de sustancias tóxicas, polvo, etc.); densidad inadecuada ("falta de aire" por baja presión);
- b) Sensación desagradable de "calor", y
- c) Sensación desagradable de "frío".

Se abordarán las posibilidades de solución de estos problemas partiendo del análisis del comportamiento biotérmico del organismo humano.

II. TERMOFISIOLOGIA DEL CUERPO HUMANO^{1/}

1. Aspectos cualitativos: temperatura

El organismo humano constituye un sistema homeotérmico: para su correcto funcionamiento necesita mantener una temperatura interna constante de alrededor de 37°C,^{2/} cualesquiera que sean las condiciones térmicas de su entorno inmediato. Esta temperatura no es uniforme: la temperatura de la piel es inferior a la del interior del cuerpo, y la de las extremidades resulta, a su vez, inferior a la del tronco. Podemos aceptar como temperatura media de la piel la de 35°C. La circulación sanguínea contribuye en gran medida a uniformar la temperatura del interior del cuerpo.

2. Aspectos cuantitativos: cantidad de calor

Se puede equiparar el organismo humano a una máquina térmica que recibiera como insumos agua, oxígeno, energía química en general (alimentos), además de una cierta cantidad de calor suministrado por su medio ambiente, y, bajo determinadas condiciones, produjera energía mecánica (actividad muscular), y calor. Los procesos bioquímicos internos generan energía térmica bajo forma de "calor metabólico".

Este calor metabólico, que se produce incluso cuando la actividad muscular se ve reducida al mínimo, debe ser oportunamente disipado; si no lo fuera, la temperatura del cuerpo subiría por encima de los estrechos límites dentro de los cuales es posible el correcto funcionamiento del organismo. Desde luego, la actividad muscular incrementa considerablemente la cantidad de calor metabólico a disipar. (Véase el cuadro 1.)

El rendimiento termodinámico (porcentaje de la energía recibida que transforma en energía mecánica) de nuestro organismo, es del orden del 20% al 25%.

^{1/} Los principios físicos cuyo conocimiento es necesario para comprender la continuación del texto son aquéllos, muy elementales, normalmente adquiridos en el ciclo de la educación secundaria.

^{2/} La temperatura interior crítica, más allá de la cual se produce la muerte, es de 42°C.

Cuadro 1

PRODUCCION DE CALOR METABOLICO EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD DEL INDIVIDUO ^{a/}

Actividad	Dispersión metabólica (W)
<u>Inactividad</u>	
Actividad reducida al mínimo posible (individuo dormido): "metabolismo basal"	75
Sentado inactivo	120
<u>Trabajo ligero</u>	
Sentado, movimiento moderado de brazos y tronco (por ejemplo: trabajo de oficina)	130-160
Sentado, movimiento moderado de brazos, tronco y piernas (por ejemplo: manejo de un carro con tráfico) o de pie, trabajo ligero, principalmente con los brazos	160-190
<u>Trabajo moderado</u>	
Sentado, movimiento intenso de brazos, tronco y piernas; o de pie, con trabajo ligero que incluya algún desplazamiento	190-230
De pie, trabajo moderado con desplazamiento	220-290
Levantamiento y transporte de pesos moderados	290-400
<u>Trabajo intenso</u>	
Levantamiento y acarreo intermitentes de grandes pesos	430-600
Trabajo físico más rudo y continuado	600-700

^{a/} La producción de calor metabólico tiene la dimensión de una potencia (energía por unidad de tiempo). Se medirá por tanto en Watts (Joules/s.) Los datos de la tabla, extraídos de Belding y Hatch (1955), se refieren a un hombre de unos 70 kg. de peso, 1.82 m² de superficie de piel y 1.73 m. de altura, que se encuentre realizando en forma continuada la actividad que se describe en la parte izquierda de la tabla.

/El alimento

El alimento que cada ser humano requiere está en función de la actividad que pretenda realizar.^{3/}

En función de los datos expuestos y suponiendo resuelto el problema alimentario (lo cual, en amplias regiones de América Latina, es mucho suponer), se puede entender que el problema principal en las zonas cálidas, desde el punto de vista biotérmico, es el de conseguir disipar cómoda y eficientemente el calor metabólico que produce el cuerpo.

3. Intercambio térmico global del cuerpo con su entorno

Todos los mecanismos habituales de transmisión térmica se encuentran, con distinta y variable importancia relativa, en la interacción del cuerpo humano con su entorno.

a) Conducción

La piel, por medio del contacto físico con su entorno inmediato: aire,^{4/} ropa, suelo y muebles, puede ganar o perder calor, según que su temperatura sea más baja o más alta que la de la superficie de contacto del elemento de que se trate.

b) Convección

El aire calentado o enfriado por la piel se desplaza, por disminución o aumento de su densidad, dando lugar a un fenómeno de convección.

c) Radiación

La piel irradia siempre calor en la longitud de onda correspondiente a los infrarrojos.^{5/}

^{3/} Un ser humano inactivo necesitaría como mínimo para su supervivencia un nivel medio de dispersión metabólica de unos 100 W. Requeriría diariamente alimentos que proporcionaran una energía de 100 W x 24 horas = 2 400 W h/día (equivalentes a 2 060 kCal, que se podrían obtener con unos 540 gramos de pan, o unos 270 gramos de grasa animal).

^{4/} En el caso del aire se produce, estrictamente hablando, un mecanismo mixto de conducción-convección.

^{5/} Suponiendo un comportamiento como cuerpo negro, atendiendo a la Ley de Wien, la longitud de onda de máxima radiación sería de 9.4 μ m aproximadamente, para una temperatura de la piel de 33°C. En sentido estricto, el mecanismo de radiación involucra también a los tejidos situados por debajo de la piel.

Nuestro entorno emite a su vez radiaciones, ya sea en ondas "cortas" (radiación solar directa) o en ondas "largas" (radiación terrestre). Se plantea pues un intercambio energético por radiación entre la piel y el entorno, incluso lejano.

Este es un aspecto generalmente mal conocido y comprendido por el hombre común: podemos sentir "frío" o "calor" aun cuando la temperatura del aire que nos rodea se encuentre dentro de los límites convencionales de la zona de confort, en función de que las superficies que tengamos próximas se encuentren muy frías (balance de radiación negativo para el cuerpo) o muy calientes (balance de radiación positivo para el cuerpo). El mecanismo de transmisión térmica por radiación no necesita de contacto físico alguno para tener lugar.

d) Evaporación

Quando las capas de aire que nos rodean posean una humedad relativa inferior al 100%, se producirá disipación térmica al liberarse calor latente por medio de la evaporación del sudor sobre la superficie de la piel y también por la humectación del aire a su paso por los pulmones.

El balance térmico entre el cuerpo humano y su entorno puede expresarse en la forma siguiente: $M + Cd + Cv + R - E = 0$, donde M es el calor que por unidad de tiempo produce el metabolismo humano, Cd, Cv, y R el calor que gana o pierde el cuerpo por conducción, convección y radiación, respectivamente, y E el calor que siempre pierde el cuerpo por evaporación.

El valor relativo de estas variables depende de cada circunstancia concreta. En condiciones bastante favorables de confort y para un individuo en reposo, la dispersión metabólica tendrá lugar según porcentajes parecidos a los siguientes:

30% por conducción/convección;

45% por radiación, y

25% por evaporación.

La condición de que se anule la expresión: $M + Cd + Cv + R - E$ equivale a la condición de homeotermia, pero no indica nada respecto al posible confort térmico del individuo del que se trate. Si la expresión citada tendiera momentáneamente a ser positiva, el sujeto experimentaría más

/calor

calor y si tendiera a ser negativa, sentiría más frío que en la situación inmediatamente anterior de equilibrio. En ambos casos se pondrán rápidamente en funcionamiento mecanismos psicofisiológicos que, alterando una o más variables, restituirán el equilibrio perdido, anulando otra vez la mencionada expresión del balance térmico.

4. Recursos de termorregulación

Al nivel de la conducta molar, los recursos de termorregulación incluyen: el simple desplazamiento hacia zonas donde las circunstancias climáticas naturales sean menos adversas, la concepción y fabricación de objetos que configuran la "cultura material", algunos de los cuales tienen como finalidad básica el control bioclimático (por ejemplo: la ropa y la edificación), y, en general, la intervención sobre el medio ambiente para transformarlo en un sentido más favorable a las actividades humanas. El control individual de la actividad, entendida ésta en su dimensión física, constituye en sí mismo uno de los principales mecanismos de termorregulación puesto que, como se vio, la variable "calor metabólico" depende muy directamente del tipo de actividad física que se desarrolle.

El organismo humano presenta unas posibilidades concretas de termorregulación basadas en la variación de las condiciones de interacción entre la piel (y las membranas respiratorias) y su entorno. La piel es un órgano que desarrolla un conjunto muy importante de funciones, entre las que figura la de disipar el calor metabólico. Esta dispersión se ve parcialmente contrarrestada por la energía térmica que la piel absorbe del medio ambiente. La piel recibe el calor endógeno por medio, sobre todo, de la circulación sanguínea. La sangre, en cuya composición domina cuantitativamente el agua, tiene un calor específico alto (muy similar al de este último líquido: $4.2 \text{ j/g } ^\circ\text{C}$), y actúa como vehículo de transporte de energía química (transporte de nutrientes) y térmica (transporte de calor del centro a la periferia).

Los mecanismos fisiológicos de termorregulación son de naturaleza involuntaria, y se pueden clasificar atendiendo a los siguientes rubros:

a) Grado

a) Grado de sudoración

Las glándulas sudoríparas humedecen la superficie de la piel permitiendo la evaporación, la cual tendrá lugar siempre que el aire en contacto con la piel no se encuentre saturado. Dicha evaporación consume calor latente, que en buena medida toma del cuerpo. Constituye, pues, un medio de dispersión térmica. Cuanto más baja sea la humedad relativa del aire mayor eficacia adquirirá el recurso de la sudoración. Un adulto muy sudoroso puede producir continuamente la cantidad de un litro de sudor por hora, siempre, claro está, que vaya reponiendo el líquido y las sales que va perdiendo. En casos extremos, la producción puede alcanzar el ritmo de 2.5 litros/hora (Givoni, 1963), aunque por un tiempo muy limitado. El sudor, en condiciones muy favorables de confort, no se hace visible sobre la superficie de la piel; se evapora antes, en los mismos poros epidérmicos. La pérdida de líquido se manifiesta entonces sólo mediante el uso de la báscula de precisión.

b) Flujo de circulación subcutánea

Varía de 0.16 litros de sangre por metro cuadrado de piel en estado de vasoconstricción a 2.2 litros por metro cuadrado en estado de máxima vasodilatación.

En caso de que, por efecto del frío, se produzca una vasoconstricción generalizada, el calor metabólico permanece en mayor grado en el interior del cuerpo, disminuyendo la temperatura de la piel. La vasodilatación, al contrario, permite un amplio despliegue superficial circulatorio, lográndose así una mayor dispersión térmica.

c) Ritmo cardíaco

Su aceleración acentúa la transmisión térmica del interior del cuerpo hacia la piel.

d) Ritmo respiratorio

El aire que inhalamos se calienta (si su temperatura es inferior a 37°C) y se humidifica (si su humedad relativa es inferior al 100%) a su paso por los alveolos pulmonares.

/De esta

De esta forma se disipa una pequeña cantidad de nuestro calor metabólico. Al forzar el ritmo respiratorio se intensifica dicha disipación. En el hombre inactivo, confortable, con bajo ritmo respiratorio, se estima una pérdida por evaporación en pulmones de sólo unos 40 gramos de agua/hora. La dispersión por esta vía será pues muy escasa en las circunstancias descritas. Sin embargo, la disipación respiratoria cobra gran importancia a muy bajas temperaturas, pudiendo llegar a representar 1/5 de la disipación total.

e) Intensidad de la actividad muscular involuntaria

La sensación de calor produce una relajación involuntaria de la actividad muscular, mientras que la sensación de frío tensa los músculos, aumentando así la producción de calor metabólico. Este es el sentido biológico que tiene la acción de tiritar, común manifestación involuntaria de la sensación de frío. El mecanismo aludido tiene también relación con el de vasoconstricción/vasodilatación, antes mencionado.

f) Modificación del apetito^{6/}

El clima es uno de los factores que determina el apetito de cada individuo. Se regula así, en parte, la ingestión de alimentos en sus aspectos cuantitativos y cualitativos. El apetito influye de esta manera en la producción de calor metabólico.

Nuestro organismo lleva incorporado un termostato de buena precisión: el hipotálamo, ubicado en la región cerebral. Este órgano detecta cualquier pequeño cambio en la temperatura del torrente circulatorio interno y pone en funcionamiento una combinación de los mecanismos de termorregulación que se acaba de describir, los cuales persisten hasta que la temperatura sanguínea vuelve a la normalidad.

6/ En las zonas tropicales la pérdida de apetito puede conllevar por sí sola una cierta malnutrición. El problema se complica porque algunos alimentos (por ejemplo, carne y huevos) producidos en condiciones tropicales presentan carencia de algunos elementos (por ejemplo, vitamina B1) necesarios para la correcta nutrición humana.

En cada situación concreta la dosificación precisa de cada uno de los recursos biológicamente disponibles varía mucho de un individuo a otro; sin embargo, cabe destacar la sudoración como el recurso en última instancia más eficaz y universal, al menos en las zonas templadas y cálidas.

La eficacia de los recursos de termorregulación hace posible la homeotermia, pero cada uno de estos recursos tiene alcances limitados. Existen unos márgenes "normales" de intensidad fuera de los cuales se presentan situaciones de creciente fatiga y desgaste, hasta alcanzar unos límites biológicos intransgredibles. Fuera de los límites absolutos de actuación de dichos recursos la vida humana es imposible; fuera de los márgenes de "normalidad" se presenta una carencia más o menos acusada de confort térmico.

III. LAS SENSACIONES DE CONFORT/MALESTAR TERMICOS

1. Detección de las variables pertinentes

La sensación subjetiva de calor o frío depende de la intensidad con que estén funcionando los recursos de termorregulación, los cuales a su vez dependen de un limitado número de variables microclimáticas. El conocimiento científico de estas correlaciones es relativamente reciente. Hasta finales del siglo pasado, por ejemplo, se pensaba que el malestar térmico que los sujetos experimentaban cuando se aglomeraban en una habitación cerrada, se debía a una supuesta concentración de gases tóxicos, producidos por los mismos individuos. Lavoisier, a finales del siglo XVIII, identificaba incluso como componente tóxico al dióxido de carbono. La responsabilidad del malestar se atribuía pues a la composición química del aire inhalado, no a sus condiciones físicas. Esta concepción persiste, a nivel popular, incluso hasta nuestros días: en ese sentido, el lenguaje común utiliza la expresión "aire viciado".

Esta teoría de las "antropotoxinas" sufrió un golpe demoledor en 1914 cuando Sir Leonard Hill realizó un "experimentum cruxis": encerró a un grupo de estudiantes voluntarios y observó a la vez las modificaciones físico-químicas de las condiciones atmosféricas en el cuarto de experimentación y el correlativo incremento del malestar biotérmico de sus ocupantes. Dicho malestar, por cierto, se redujo considerablemente poniendo en funcionamiento un simple ventilador. Ese mismo aire "viciado" debidamente controlado en sus variables físicas (refrescado y deshumidificado), se dio a respirar a otro grupo de voluntarios, quienes no experimentaron malestar alguno.

No es de extrañar que fueran médicos británicos, como Hill o Haldane, los que a comienzos de nuestro siglo sentaron las bases para el conocimiento efectivo de los factores que afectan al confort biotérmico. El "establishment" británico tenía mucho interés en mejorar la productividad de aquellos trabajadores sobre cuyos sufridos lomos descansaba en última instancia el poderío del Imperio: mineros encerrados en galerías sofocantes, trabajadores textiles en fábricas cuya humedad atmosférica se

mantenía artificialmente alta para reducir la fragilidad de las hilaturas, fogoneros de barcos surcando aguas tropicales, trabajadores agrícolas recolectando algodón bajo un sol de justicia y un largo etc.

Se establecieron, a partir de experimentos, algunos de los cuales se remontaban al siglo XVIII, las tres variables microclimáticas fundamentales:

a) La temperatura del aire y de las superficies que configuran el entorno físico (incluimos en este rubro la radiación).

Este factor condiciona los intercambios por conducción, convección y radiación.

b) La humedad relativa del aire, factor que condiciona la evaporación.

c) El movimiento del aire, factor que permite la efectividad de los mecanismos anteriores.

Conviene aclarar mejor el modo de actuación de este último factor. Las capas de aire más cercanas a la piel van adquiriendo temperaturas cada vez más próximas a la de la misma piel. A su vez, la humidificación sudorípara produce en esas capas una humedad relativa que se va aproximando al 100%. Si esas capas de aire permanecieran inmóviles, "adheridas" a la piel, se anularían por completo las posibilidades de termorregulación por evaporación cutánea, y por conducción/convección atmosférica; de ahí la importancia que tiene la tasa de renovación de esas capas de aire muy próximas a la piel y la probada efectividad de la ventilación a efectos del confort biotérmico.

Una vez identificadas las tres variables físicas fundamentales del microclima, el problema se reducirá a estudiar los márgenes de variación de cada una de ellas, y las correlaciones entre las mismas que, estadísticamente suelen producir sensaciones de bienestar bioclimático, en función de que determinan un uso biológicamente económico de los recursos de termorregulación.

2. Medida de las variables bioclimáticas básicas

Resulta hoy posible y económico cuantificar adecuadamente las variables físicas ambientales detectadas como fundamentales. Esto permite una práctica experimental, más científica, superadora del empirismo con que tradicionalmente se ha venido manejando el problema bioclimático.

/a) Temperaturas

a) Temperaturas y radiación

i) Temperatura "seca" (TS). Es la que mide un termómetro corriente, de mercurio (corresponde a la temperatura de la columna de mercurio).

El termómetro más usual, simple o con registro de máxima y mínima, utiliza el principio de la dilatación (del mercurio), del alcohol, de una espiral metálica o de un par bimetálico). Existen otros aparatos, como los pares termoelectricos o los termistores que se basan en la transformación de un potencial térmico en un potencial eléctrico, fácilmente medible.

El termógrafo registra gráficamente, en forma continua, la variación de las temperaturas.

El hombre común tiende a sobrevalorar el dato de la temperatura "seca" y a considerarlo como el dato único que determina la sensación de confort o malestar, olvidándose de que nuestra piel presenta una superficie que es húmeda y que dista mucho de tener el índice de reflexión de la del mercurio.

ii) Temperatura "radiante" (TR). Es la que registra un termómetro corriente cuyo bulbo se encuentra en el interior de una esfera de cobre hueca, de unos 15 cm de diámetro, pintada interior y exteriormente con pintura negra mate rugosa.^{1/} Este instrumento mide la influencia conjunta de la temperatura seca del aire y de la radiación incidente. Colocando el aparato a pleno sol, o en proximidad de alguna fuente de radiación térmica (una chimenea, o simplemente un muro recalentado), la temperatura registrada será mayor que la que se obtendría mediante un termómetro corriente. Si el aire está quieto, la temperatura que indique un termómetro de globo corresponderá a la "temperatura radiante media" (TRM). Belding (1967) propone la siguiente fórmula correctiva para el caso en que el aire que rodea al termómetro de globo se encuentre en movimiento: $TRM = TR + 0.24 \sqrt{V} \cdot (TR - TS)$, en la que V es la velocidad del aire (m/s).

iii) Temperatura "húmeda" (TH). Es la que indica un termómetro corriente cuyo bulbo se mantuviera continuamente húmedo (rodeado por un fieltro humedecido, por ejemplo) y en torno al cual se moviera permanentemente el aire. Como se ve, la TH corresponde exactamente al punto de rocío

^{1/} El objetivo es conseguir un comportamiento físico que se parezca lo más posible al teórico "cuerpo negro". Lo ideal sería ennegrecer con humo.

del aire en cuestión, es decir, la temperatura a la cual se satura y deja de evaporar agua. Un psicrómetro es una combinación de dos termómetros (uno "seco" y otro "húmedo").

Conociendo las TS y TH de una determinada porción de aire, resulta fácil deducir su humedad relativa, consultando algún diagrama psicrométrico. (Véase la figura 1, o bien los cuadros que acompañan al psicrómetro.) Las TS, TR y TH se miden en grados Celsius o en grados Kelvin.

iv) Radiación solar. Las medidas más precisas de radiación solar no se realizan con un termómetro de globo, sino con un "piranómetro" o "solarímetro", que mide la cantidad total de radiación de onda corta que incide sobre una superficie horizontal, con un "piroheliómetro" o medidor selectivo que puede orientarse en la dirección deseada o con un "radiómetro" cuya medición es omnidireccional (abarcando por tanto las ondas largas provenientes del terreno y de las construcciones).

b) Humedad

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en una porción de aire.

Recuérdense los distintos índices que pueden expresar una misma humedad:

- 1) Humedad absoluta: masa de agua por metro cúbico de aire analizado;
- 2) "Proporción de mezcla": masa de vapor (generalmente en gramos) por kilogramo de aire seco;
- 3) Humedad específica: masa de vapor por kilogramo de aire húmedo;
- 4) Presión de vapor (PV): componente de la presión total de la porción de aire húmedo que corresponde a la presión ejercida por el vapor de agua.

Se expresa en unidades de presión;

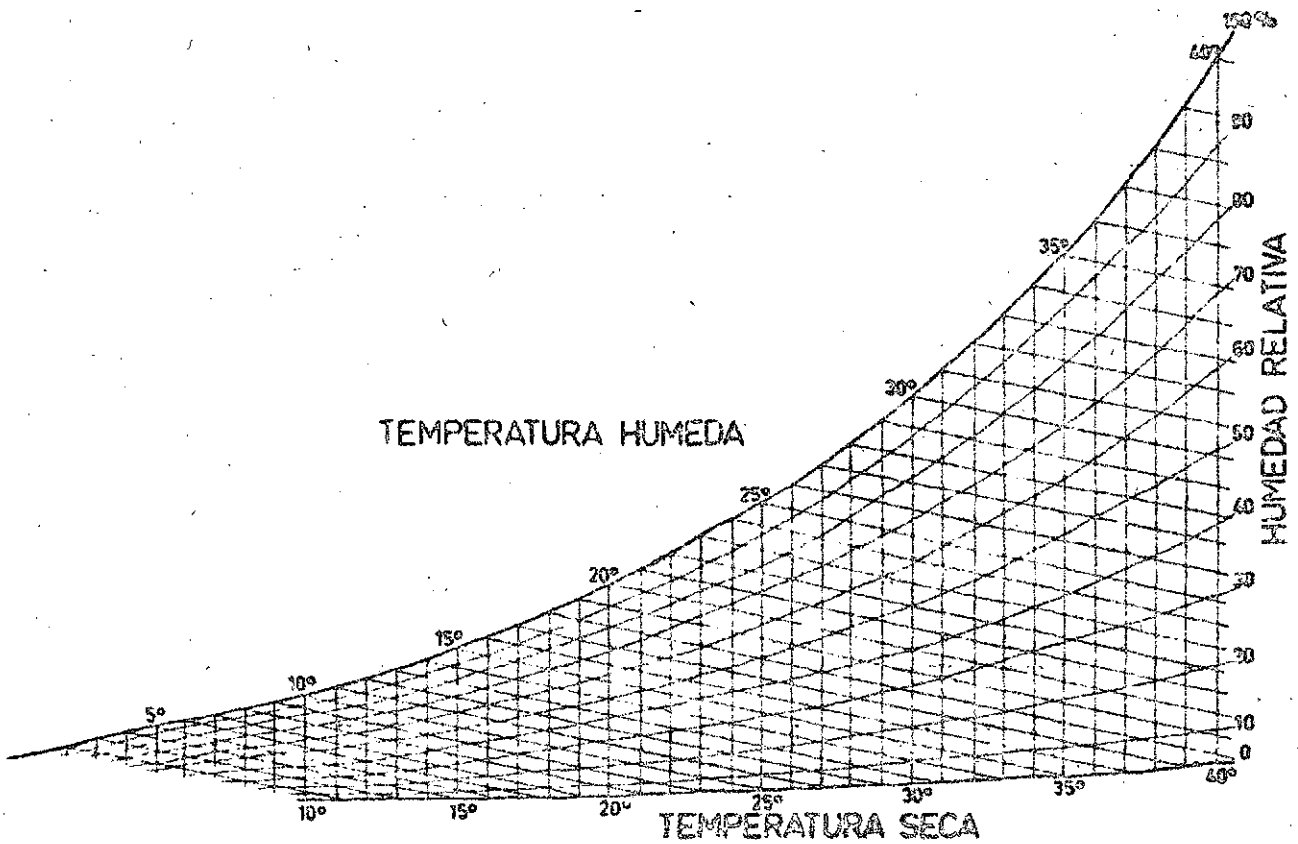
5) Humedad relativa (HR) es la relación, expresada porcentualmente, entre la presión de vapor existente en una porción de aire y la que se presentaría en caso de que esa porción se encontrara saturada a la misma temperatura.

$$HR = \frac{PV}{pvs} \times 100 \quad (\text{Siendo pvs: presión de vapor en saturación}).$$

/Figura 1

Figura 1

GRAFICO EN QUE SE RELACIONAN LOS VALORES DE LA TEMPERATURA SECA (COORDENADAS VERTICALES), HUMEDAD RELATIVA (CURVAS) Y LA TEMPERATURA HUMEDA (COORDENADAS OBLICUAS)



/6) Temperatura

6) Temperatura del punto de rocío: temperatura a la que se produce la saturación si se enfría el aire a presión constante sin añadir ni quitar vapor.

En meteorología se usan, sobre todo, los índices 2) y 6), en bioclimatología los 4) y 5), y en ingeniería de acondicionamiento de aire: 1), 2), 5) y 6).

La medida directa es posible y cómoda sólo para la humedad relativa, mediante la utilización de un higrómetro, entre los cuales el más común se basa en la variación de longitud de un cabello en función precisamente de la humedad relativa. La precisión que se consigue con este higrómetro es bastante baja. Existen aparatos de medida directa más precisos, como por ejemplo los higrómetros de rayos infrarrojos, pero son delicados y costosos. Por ello resulta más práctico hacer uso de medidas indirectas, por medio del psicrómetro.

c) Movimiento del aire

Se mide la velocidad del aire mediante anemómetros, de los cuales existen algunos modelos ligeros y portátiles. La unidad en que se expresa el movimiento del aire es el m/s. Se utilizan a veces también los grados Beaufort, fácilmente traducibles a m/s. Considerando el viento como un factor aislable, se podrían señalar las siguientes correlaciones entre magnitudes físicas y efectos sensibles:

Hasta 0.25 m/s	-	no se percibe
0.25 - 0.5	-	comienza apenas a sentirse
0.50 - 1.0	-	movimiento de aire muy suave, efectivo y agradable en tiempo cálido y húmedo
1.65	-	máxima velocidad agradable sin efectos indeseables en trabajo de oficina
1.65 - 3.30	-	puede comenzar a resultar molesto: los papeles comienzan a volar (3.30 marca el tope deseable de velocidad en espacios interiores)
3.30 - 5.00	-	brisa
5.00 - 10.00	-	viento moderado
10.00 - 15.00	-	viento fuerte a muy fuerte
Más de 15.00	-	vendaval

/A partir

A partir de 25 m/s es posible el daño en edificaciones corrientes, no precarias. Las tormentas tropicales generan vientos cuya magnitud oscila entre 17 y 32 m/s. Los huracanes determinan velocidades de más de 32 m/s:

3. La ropa como factor de mediación

Los estudios psicofisiológicos de las condiciones de confort biotérmico han concedido, hasta hace poco, escasa atención a la indumentaria como primer factor de mediación entre el cuerpo humano y su medio ambiente. Hoy resulta ya absurdo subestimar los efectos de nuestra "segunda piel". La ropa implica un aislamiento térmico adicional que obstaculiza la dispersión del calor metabólico que producimos, a la vez que protege contra una disipación excesiva. Por una parte, el tejido en sí supone un filtro ambiental que, además de poseer algunas cualidades aislantes, controla el paso del aire y de la humedad. Por otra, la disposición de la ropa crea entre el tejido y la piel una cámara de aire más o menos estable, cuyo efecto aislante se suma al del tejido en sí. En todos los casos se reduce considerablemente el movimiento del aire en contacto con la piel. Por todo ello, la ropa constituye el recurso más directo y eficaz contra la sensación de frío. Cuanto más frío haga deberá ser la ropa más gruesa, impermeable al aire y ceñida al cuerpo; frente al frío convendría además disponer la indumentaria en distintas capas, para crear varias cámaras de aire, y seleccionar tonos exteriores oscuros para absorber mejor la radiación solar. Frente al calor la estrategia será la opuesta: disminución de la ropa, ligereza y permeabilidad al aire del tejido, que deberá ser muy absorbente, disposición muy holgada de la indumentaria para permitir la circulación interior del aire, y selección de tonos exteriores muy claros para aumentar la reflexión de la radiación recibida.

A efectos de los cálculos termofisiológicos se han establecido algunas cuantificaciones para el factor de arropamiento. El intento más difundido es el publicado en Gagge, Burton y Gazatt (1941), que se sintetiza en el cuadro siguiente:

/Cuadro 2

Cuadro 2

CUANTIFICACIONES PARA EL FACTOR DE ARROPAMIENTO

Grado de arropamiento	Descripción ejemplificatoria	Resistencia térmica en $m^2 \text{ } ^\circ C/W$	Conductancia en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
Ropa 0	Desnudez total	0	∞
Ropa 0.5	Ropa interior corta, pantalones ligeros de algodón, camisa de manga corta, cuello abierto	0.08	12.50
Ropa 1.0	Ropa interior corta, traje típico de oficina, con chaleco	0.16	6.25
Ropa 1.5	Ropa interior larga, traje con chaleco de lana, calcetines de lana	0.24	4.15

(El cuadro continúa, pero los demás grados se salen del contexto en que se centra este trabajo.)

El comportamiento térmico de la ropa se ve afectado por el movimiento externo del aire. Así, la IHVE Guide señala los siguientes factores de reducción para el grado "ropa 1", en función de la velocidad del aire:

V (m/s)	grado de arropamiento (clo)
0.0	1.00
0.1	0.85
0.2	0.70
0.5	0.50
1.5	0.40

Se ve así que ropa 1 con movimiento de aire de 0.5 m/s equivaldría a ropa 0.5. La reducción de resistencia térmica de la ropa cuando el aire está en movimiento obedece a varias determinaciones: a través de sus poros consigue filtrarse el aire hacia la piel, renovando la capa en contacto con ella; además la ropa, por efecto del viento, se puede aplastar contra la piel, quitándole eficacia aislante a las capas de aire.

Las consideraciones que anteceden no debieran hacer olvidar que la de intervenir en el control biotérmico no es la única función de nuestra industria; en muchos casos ni siquiera es la principal.

/Respecto

Respecto a la ropa, como respecto a la arquitectura, las determinaciones culturales son mucho más poderosas de lo que generalmente se cree. La ropa es signo, no sólo artilugio térmico. Estamos acostumbrados a obtener, casi inconscientemente, una enorme cantidad de información del atuendo de nuestros interlocutores: pertenencia a una clase social, actitud, gustos, aspiraciones, etc. La configuración de la indumentaria (así como la forma urbano-arquitectónica del entorno construido) no remite a una ideología, sino que es ideología. Cumple unas funciones sociales concretas, como la de servir de factor de identificación de sujetos que ocupan un lugar semejante en la organización social. Este campo ideológico en el que, queramos o no, estamos inmersos determina en cada caso los márgenes de variación de nuestro "discurso indumentario".

Con demasiada frecuencia, esta "presión simbólica" implica una considerable servidumbre bioclimática, una sensible reducción de la calidad de vida de los individuos. Ir "correctamente" vestido quiere decir, en general, pasar calor. Curiosamente, esa presión simbólica a la que se alude se ejerce en forma mucho más implacable sobre la pequeña burguesía urbana que sobre la alta burguesía o sobre el proletariado urbano o rural.

4. El proceso de aclimatación

Las adaptaciones a largo plazo que experimenta cada organismo cuando se encuentra en un medio bioclimático básicamente estable constituyen lo que se denomina "aclimatación". Los recursos biotérmicos no permanecen constantes para cada individuo.

El proceso de aclimatación se encuentra todavía hoy mal estudiado experimentalmente. Con demasiada frecuencia se supone inexistente y se realizan estudios biotérmicos basados en la falsa asunción de un comportamiento standard, universal, de la fisiología humana. Se ha comprobado que el metabolismo basal aumenta considerablemente por aclimatación al frío. Cuando un individuo habituado a un clima templado se somete en forma continua a condiciones calurosas, su organismo comienza también, paradójicamente, por aumentar su metabolismo basal, para acabar reduciéndolo a largo plazo. Los escasos

datos de que se dispone para el estudio del confort térmico suelen provenir de trabajos experimentales realizados sobre sujetos aclimatados a entornos templados, correspondientes a los países industrializados. En el contexto tropical, se deberán manejar estos datos con bastante cautela.

Desde un enfoque racista, se ha intentado también identificar alguna correlación entre la conducta biotérmica de un individuo y la "raza" a la que pertenece. Históricamente, se presentaron manipulaciones pseudocientíficas que pretendían demostrar que la raza negra resultaba mucho más apropiada para trabajar en los trópicos que las razas europeas. Los estudios más serios tuvieron que reconocer que, en la escasísima medida en que el concepto de "raza" tiene un preciso valor científico, los individuos de las distintas "razas" son capaces de alcanzar una misma productividad tanto en el esfuerzo físico como en el intelectual. Las diferencias, en caso de existir, serían atribuibles a factores educativos y de aclimatación.

5. Intereses y tendencias en los estudios bioclimáticos

La actitud básicamente analítica que se ha venido asumiendo ha permitido identificar y abordar, aun aisladamente, algunas variables fundamentales que pudieran intervenir en el problema del control bioclimático. Para poder hacer operativos los conocimientos adquiridos, se hace necesario ahora tratar de sintetizar los datos y relacionar las variables. Las problemáticas de partida y las finalidades explícitas o implícitas de este tipo de investigaciones han variado históricamente, pero se pueden detectar dos grandes tendencias. La primera se centra en el concepto de "confort térmico", tratando de definirlo estadísticamente en función de los márgenes de oscilación de las variables básicas y de sus correlaciones. Los trabajos adscribibles a esta tendencia suelen referirse a las necesidades de los individuos vestidos ligeramente y en reposo, o realizando un trabajo sedentario. Las aproximaciones cuantitativas al concepto de "confort térmico" se caracterizan en general por su sencillez de expresión. No es difícil imaginarse que la práctica que subyace a este conocimiento es sobre todo la de los ingenieros climatizadores del aire y que el problema-tipo que se trata de resolver es

el de garantizar, al menos en sus variables fácilmente cuantificables, un entorno climático "aceptable" para un conjunto de trabajadores del sector terciario.

La segunda tendencia se centra en el concepto de "stress" o malestar térmico, el cual trata de definir y cuantificar objetivamente relacionando los hechos fisiológicos con las variables básicas mediante fórmulas empíricas que admitan una verificación experimental. La expresión de estas fórmulas no siempre adopta formas simples y fáciles de manejar; todas ellas aspiran a constituir modelos del funcionamiento fisiológico objetivo que permitan emitir predicciones.

Los individuos cuyo comportamiento biotérmico desea estudiar esta última tendencia se hallan frecuentemente en situaciones climáticas límite, ya sea por la intensidad de la actividad que desarrollan o por la de las variables climáticas del entorno. La práctica social que determina esta orientación es básicamente la de los ergónomos y admite variantes según que los fines sean civiles o militares.

El problema-tipo que tratan de resolver es el de predecir las condiciones de resistencia y productividad de un individuo sometido a circunstancias climáticas adversas.

Mientras la primera tendencia enfatiza el aspecto subjetivo del confort (trata de predecir cómo "se sentirán" determinadas personas), la segunda insiste en la objetividad de los hechos fisiológicos (trata de predecir aquello que fisiológicamente sucederá, al margen de los contenidos de conciencia).

Ambas corrientes se han abocado en general al estudio de los mecanismos de defensa frente al calor. La lucha contra el frío no parece preocupar mucho a los investigadores en la medida en que existen para ello recursos obvios, eficaces y fácilmente aplicables: incrementar el ejercicio físico, logrando así niveles más altos de producción de calor metabólico, aumentar el grado de arropamiento, limitando así la dispersión térmica. Además el hombre sabe desde tiempos inmemoriales que cualquier combustión cede calor. Un simple fuego puede así modificar a su favor las condiciones microclimáticas adversas, mientras que la producción deliberada de frío es una conquista muy tardía --y todavía hoy muy costosa-- de la humanidad.

Nuestro conocimiento de los hechos bioclimáticos se encuentra, todavía hoy, bastante incompleto y mal integrado. Se necesitará aprovechar los conocimientos objetivos alcanzados por las dos corrientes de investigación antes referidas, pero sin renunciar a una superación de las prácticas sociales en que se basan. Nuestra problemática no se limita a la de climatizar un edificio convencional de oficinas ni a la de evaluar las posibilidades de operación de un batallón en el desierto, se centra en la consecución de un entorno global cada vez más humano, que potencie las capacidades del hombre en vez de limitarlas.

6. Indices termofisiológicos de "stress" térmico

a) Intercambio "seco" y evaporación requerida

El punto de partida es la ecuación del balance térmico humano y se trata de cuantificar las variables en función de las condiciones microclimáticas.

La producción de calor metabólico, M, es un dato que depende de la actividad que desarrolle el sujeto; puede tomarse del cuadro 1.

Se suelen agrupar los factores C_d , C_v y R para constituir lo que se denomina "intercambio seco" (IS), es decir, el intercambio térmico que se produce exclusivamente por conducción, convección y radiación, sin intervención de la evaporación de sudor. El IS puede ser positivo (absorción térmica por parte del cuerpo, en condiciones muy calurosas) o negativo (dispersión normal, seca, de calor metabólico).

Se puede calcular el IS realizando una estimación de sus componentes y sumándolas. Para ello existen fórmulas experimentales que relacionan $C_d + C_v$ con la TS y V del aire (Haines y Hatch (1952)), otras que incluso tienen en cuenta el grado de arropamiento (Givoni y Berner-Nir (1967)), y otras, finalmente, que cuantifican R en función de la TRM (o de la TR y V).

Como únicamente se trata de comprender el razonamiento global de este enfoque, no se entra a exponer en detalle estas fórmulas; se suministrará tan sólo una indicación aproximada del valor de IS a través de la expresión: $IS = (11.6 + 15\sqrt{V}) (TR-35)$ (TR en °C, V en m/s, IS en Watts). Esta última

fórmula empírica puede considerarse adecuada cuando el sujeto esté muy ligeramente vestido y se encuentre a la sombra (poca diferencia entre TR, TS y TRM)^{2/}. Se podrá observar que cuando la temperatura radiante coincide con la temperatura media de la piel (35°C), el intercambio seco será nulo.

Una vez conocidos M e IS, será fácil cuantificar la "evaporación requerida": $E = M \pm IS$; esta será la potencia térmica que deberá suministrar la evaporación del sudor.

b) Capacidad evaporativa

Hará falta pues que el sujeto sea capaz de producir sudor suficiente como para permitir la evaporación requerida. Se cuantificará este factor más adelante. Pero además se tendrá que verificar con qué facilidad o dificultad las circunstancias microclimáticas concretas permiten o impiden la evaporación que se requiere para mantener el balance térmico. Es preciso pues evaluar la "capacidad evaporativa" (CE) que corresponde a cada conjunto de condiciones concretas para poder determinar el grado de esfuerzo térmico frente al calor que experimenta el sujeto.

La capacidad evaporativa (CE) puede obtenerse a partir de las fórmulas empíricas siguientes:

$$CE = 25.2 \cdot V^{0.4} \cdot (42 - pv) \quad (\text{Belding y Hatch (1955), para un hombre medio prácticamente desnudo})$$

$$\text{y } CE = k \cdot V^{0.3} \cdot (42 - pv) \quad (\text{Givoni y Berner-Nir (1967), que introduce también la variable "arropamiento"})$$

En estas fórmulas V representa, como siempre, la velocidad del aire en m/s, pv la presión de vapor en mm de Hg. y k (en la segunda fórmula), un coeficiente que depende del arropamiento y que puede extraerse de la siguiente tabla:

- 1) Semidesnudez: traje de baño, sombrero: $k = 27.2$
- 2) Traje ligero de verano, ropa interior corta, camisa de manga corta, pantalón largo de algodón, sombrero: $k = 17.6$
- 3) Pants sobre pantalones cortos: $k = 11.2$

^{2/} Una aproximación para el IS en condiciones más frías podrá hallarse en Burton (1944).

Como se ve, en ambas fórmulas la capacidad evaporativa se anula cuando la presión de vapor existente resulta igual a la presión de vapor del aire en contacto con una piel a 35° empapada de sudor (42 mm de Hg). También se anula CE cuando el aire permanece absolutamente estancado, pero en la práctica esto no sucede (a menos que utilicemos ropa impermeable muy ceñida), siempre existe un cierto movimiento de aire, aunque sea imperceptible. En una oficina sin ventilación alguna, por ejemplo, se puede considerar una velocidad promedio de 0.1 m/s. Las fórmulas de cálculo de CE requieren el uso de tablas logarítmicas o de calculadoras que contengan la función logarítmica. Para evitarse esta molestia, resulta más sencillo recurrir a ábacos como los que aparecen en Belding y Hatch (1955).

c) Índice de esfuerzo frente al calor

Una vez que se ha establecido la capacidad evaporativa, se puede comparar con la evaporación requerida. El "índice de esfuerzo frente al calor" (IEC)^{3/} (Belding y Hatch (1955)), consiste precisamente en la expresión como porcentaje de la relación entre E y CE.

$$IEC = \frac{E}{CE} \times 100, \text{ donde CE varía de 0 a 700 W.}$$

Como promedio, el IEC no puede superar el 100%; sin embargo, en períodos cortos de muy intenso esfuerzo térmico puede el IEC subir por encima del 100% siempre que a ese período suceda otro de "reposo". Se adjunta, extraído de Belding y Hatch (1955), un cuadro de interpretación del IEC en función de sus implicaciones prácticas.

El IEC constituye un índice útil para evaluar las condiciones de respuesta biotérmica frente a esfuerzos desarrollados en espacios cerrados, en el contexto pues del análisis de la productividad industrial.

d) Ejemplificación

Un ejemplo permitirá visualizar más concretamente el método. Imagínese un minero semidesnudo trabajando en las siguientes condiciones:

3/ Heat Stress Index, HSI, en inglés.

Cuadro 3

IMPLICACIONES FISIOLÓGICAS E HIGIENICAS DE UNA EXPOSICION
DE CUERO HORAS DE DURACION A DIFERENTES INDICES
DE ESFUERZO TÉRMICO

IEC (en %)	Implicaciones
-20, -10	Enfriamiento ligero. Situación corriente en aquellos lugares donde los trabajadores se recobran de una exposición al calor anterior
0	Ningún esfuerzo térmico
+10, +20, +30	Esfuerzo ligero a moderado. Cuando el trabajo requiere funciones intelectuales más elevadas, distraza o el estar alerta, puede apreciarse una disminución sustancial en el rendimiento. Poca disminución en el caso de trabajo físico pesado, con tal de que la habilidad del individuo influya en el rendimiento sólo marginalmente.
+40, +50, +60	Esfuerzo severo; con riesgo para la salud de trabajadores que no estén físicamente capacitados. Periodos de recuperación necesarios en el caso de trabajadores que aún no se hayan aclimatado. Cabe esperar disminución en el rendimiento del mismo trabajo físico. Deseable selección médica del personal, porque tales condiciones de trabajo no resultan adecuadas en el caso de personas con afecciones cardiovasculares o respiratorias o con dermatitis crónica. Tampoco resultan adecuadas en actividades que requieran un esfuerzo mental continuado.
+70, +80, +90	Esfuerzo muy severo. Sólo un pequeño porcentaje de la población está capacitada para resistirlo. Hay que seleccionar al personal, a) por examen médico y, b) a prueba (después de aclimatación). Medidas especiales se hacen necesarias para asegurar la ingestión de agua y sales. La mejora, en lo posible, de las condiciones de trabajo, es altamente deseable y, con ello, tal vez disminuyan los riesgos en la salud y aumente el rendimiento. Pequeñas indisposiciones que, en otras condiciones, no llegarían a afectar el rendimiento, en éstas, pueden llegar a incapacitar al trabajador
+100	El máximo esfuerzo tolerable diariamente por trabajadores jóvenes y de buena salud

Fuente: Belding y Hatch, 1955.

/TS = 31°C

$TS = 31^{\circ}C$; $TR = 34^{\circ}C$; $TH = 31^{\circ}C$ ($TS = TH$ implica $HR = 100\%$), $V = 1$ m/s
(como resultado de una ventilación mecánica en la mina).

Este minero, que controla una máquina, desarrolla un trabajo ligero, de pie, con algún desplazamiento. Se puede suponer una producción de calor metabólico de 205 W.

$$IS = (11.6 + 15\sqrt{V}) (TR - 35) = -27 \text{ W}$$

La evaporación requerida será:

$$E = 205 - 27 = 178 \text{ W}$$

Calculemos ahora la capacidad de evaporación

$$CE = 25.2 VO.4 (42-pv) = 200 \text{ W}$$

(pv = 34 mm de Hg, dato extraído de cuadros a partir de los datos suministrados)

$$IEC = \frac{178}{200} \times 100 = 89\%$$

Este minero, pues, a pesar de que su trabajo es físicamente ligero, está sometido a un esfuerzo térmico muy severo y desgastante. Nuestro minero, aprovechando la ausencia temporal del vigilante, se queda dormido. Su producción de calor metabólico baja a 75 W. La evaporación requerida se reduce considerablemente: 48 W.

$$\text{El IEC será ahora de } \frac{48}{200} \times 100 = 24\%$$

El esfuerzo térmico se reduce hasta resultar muy llevadero, pero de todos modos, nuestro minero no se despertará por frío.

En este momento falla el sistema mecánico de ventilación de la mina. Por tiro natural se consigue una velocidad del aire de sólo 0.3 m/s. El intercambio seco IS valdrá entonces: 20 W y la evaporación requerida 55 W.
 $\log CE = \log (25.2) \times (42-34) + 0.4 \log 0.3$

Efectuando las operaciones y tomando antilogaritmos se obtiene
 $CE = 124.5 \text{ W}$.

El índice IEC aumenta hasta 44%.

Aunque nuestro minero despertara, no podría realizar su trabajo normal: sólo podría dispersar una producción metabólica de unos 145 W, (equivalente a un trabajo ligero de oficinista) y ello llevando al límite su esfuerzo térmico. (IEC = 100%).

/En similar

En similar situación se encontraría, una vez restablecida la ventilación normal, si pretendiera trabajar vestido, aun con ropa muy ligera: (La capacidad evaporativa estaría alrededor de 140 W, por lo que su producción metabólica no podría pasar de 160 W).

La administración técnica de la mina podría decidir, suponiendo que fuera económicamente factible, no restablecer la ventilación forzada (es decir, quedarse con un tiro natural), pero poner en funcionamiento dispositivos de deshumidificación que consiguieran, por ejemplo, una reducción de la pv de 34 a 29 mm Hg, sin variar las condiciones de temperatura. En este caso el índice IEC del minero semidesnudo sería aproximadamente el mismo que en la situación inicial, es decir, cercano al 90%.

e) Índice de sudoración

El sudor al evaporarse consume calor efectivo, que se transforma en calor latente, pero este calor no proviene solamente de la piel humana, también se toma del aire o de la ropa. Por ello sólo se aprovecha una parte del calor que se consume en la evaporación.

Givoni y Berner-Nir (1967), propusieron el llamado "índice de sudoración" (S); es la potencia térmica que se requeriría para evaporar todo el sudor que se produce en un segundo.

La "eficiencia de la sudoración" (f) se define como la fracción de S efectivamente utilizada en la dispersión del calor metabólico del cuerpo.

$$\frac{E}{S} = f \quad \text{o} \quad S = \frac{1}{f} \cdot E.$$

Según los referidos autores, $\frac{1}{f} = e^{0.6 (E/CE - 0.12)}$, donde e es la base de los logaritmos neperianos o naturales. Los márgenes de oscilación de E/CE se considerarán limitados: $0.12 < E/CE < 2.15$. Para IEC = 12%, (E/CE = 0.12), f valdrá la unidad y se mantendrá con ese valor si la IEC desciende por debajo de 12%: el sudor posee entonces máxima eficiencia, al evaporarse en los mismos poros de la piel, sin quitarle calorías a la ropa o al aire.

Al aumentar la IEC por encima de 12%, irá disminuyendo la eficiencia de la sudoración.

/El índice

El índice S_e , ($S_e = \frac{1}{f} E = \frac{1}{f} (M + C + R)$), calculado a partir de sus elementos descompuestos según las fórmulas empíricas de Givoni/Berner-Nir, constituye la expresión hasta hoy más sofisticada del esfuerzo frente al calor. Como es inmediatamente traducible a gramos de sudor por unidad de tiempo permite una fácil verificación experimental, mediante el uso de una simple báscula. Además, un conjunto de factores de corrección permite tomar en consideración las circunstancias reales, tales como indumentaria, radiación solar, etc.

El índice de sudoración presenta como inconvenientes la laboriosidad de los cálculos y las exigencias de una información previa, precisa y completa, de las circunstancias climáticas.

Si bien permite prever --aparentemente con algún éxito experimental-- la cantidad de sudor que producirá un sujeto en circunstancias determinadas, no dirá nada acerca de cómo se sentirá ese sujeto; no constituye, estrictamente hablando, un índice de "confort térmico". Como señala muy acertadamente F. Ramón (1979), "resulta prácticamente imposible valorar la cantidad de sudor en términos de mayor o menor insatisfacción subjetiva; una valoración semejante depende, en primer lugar, de "para quién" segregue uno su sudor, si para sí mismo o para otro. Habría que distinguir, pues, entre "sudor en libertad" y "sudor bajo dominio". Nadie va a preocuparse por cuantificar el primero; sería como intentar cuantificar la vida misma. Es el segundo el que hoy se pretende predecir teóricamente. Ha sido "el otro" el que ha llegado a sentir particular interés en la predicción cuantitativa de nuestro sudor".^{4/}

7. Índices termopsicológicos de "confort térmico"

Se examinarán ahora los resultados de aquella corriente de investigación que se interesa por los efectos psicológicos subjetivos de las variables microclimáticas, más que por las causas fisiológicas objetivas que los provocan. Estos trabajos se han orientado de hecho hacia la determinación empírica-experimental de aquellas condiciones bioclimáticas que un sujeto vestido

^{4/} F. Ramón (1979), pág. 25 (no subrayado en el original).

con ropa corriente y dedicado a una actividad ligera calificaría de "confortables". El objetivo implícito de estas investigaciones, como se anunciaba en el punto 5, parece haberse ido precisando como el de conseguir, para los trabajadores del sector terciario en las zonas templadas, el mínimo esfuerzo térmico posible. Quedan eliminadas así las variables "arropamiento" (se supone un vestido estándar), y "producción de calor metabólico" (se supone un trabajo ligero de oficina).

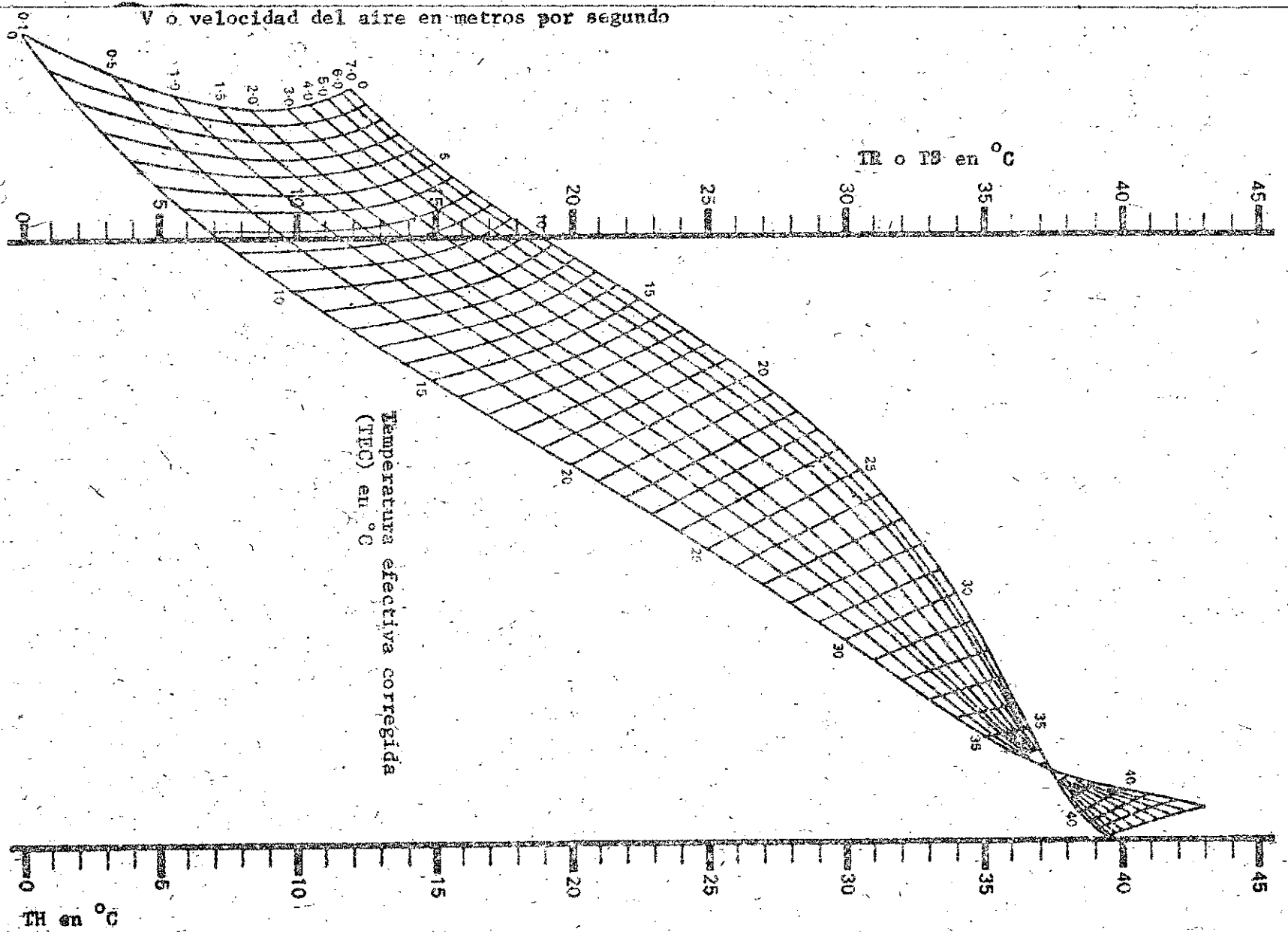
a) Temperatura efectiva

El primer intento más o menos válido de establecer un índice que conjugara los efectos de las distintas variables sobre la sensación de confort térmico tuvo lugar a comienzos de la década de los años veinte en los laboratorios de investigación que la American Society of Heating and Ventilating Engineers (la actual ASHRAE) operaba en Pittsburgh (Estados Unidos). F.C. Houghten y C.P. Yaglou, encargados del programa, propusieron el índice de la "temperatura efectiva" (TE), que, en principio, es la temperatura de un aire estacionario y saturado que produciría según la opinión promediada de un gran número de observadores, una sensación térmica semejante a la que efectivamente produce la situación bioclimática concreta que se analiza.

En un principio, el índice TE no tomaba en consideración más que la temperatura seca y la húmeda. Posteriormente se multiplicaron las comprobaciones experimentales y se incluyeron los factores del movimiento del aire y de la radiación: surgió así la "temperatura efectiva corregida" (TEC), que constituyó, durante varias décadas, el índice más confiable a efectos de la determinación del confort térmico, y, por consiguiente, el de más amplia aceptación en la práctica mundial del acondicionamiento de aire. Además de confiable resultaba práctico: el cálculo de la TEC se realiza fácilmente conociendo TR (o, en su defecto, TS), TH (o HR) y V, mediante la utilización del nomograma de la página siguiente, adaptado de Yaglou/Miller (1925). Hacia la década de los sesenta comenzó a ser cuestionado el principio de la "temperatura efectiva" y a los pocos años, la

Figura 2

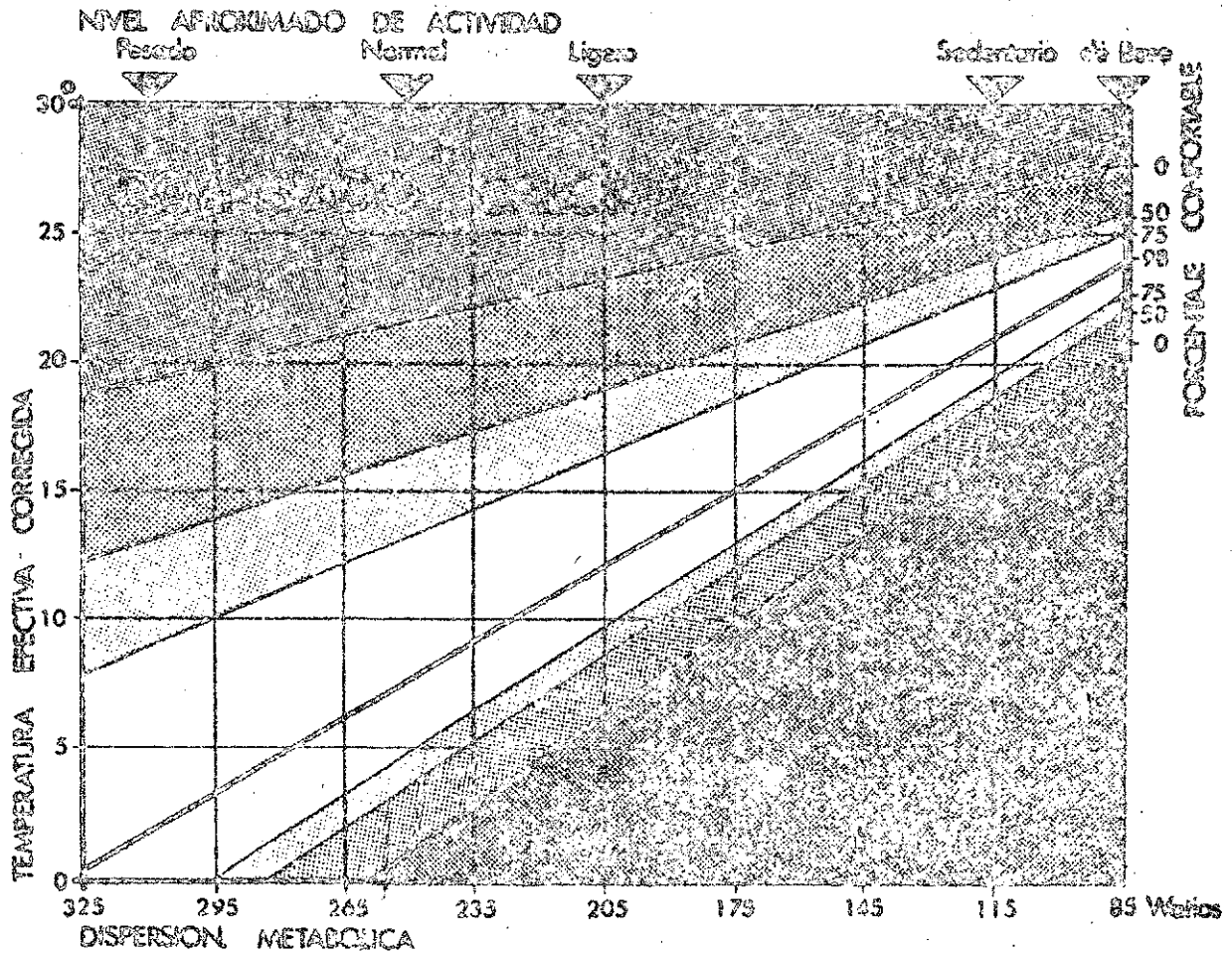
GRAFICO PARA EL CALCULO DIRECTO DE LA TEC, A PARTIR DE TS, TH Y V



/Figura 2A

Figura 33

GRAFICO QUE INDICA LA TEC CONSIDERADA COMO CONFORTABLE
EN FUNCION DEL NIVEL DE ACTIVIDAD FISICA
QUE SE DESARROLLE



Fuente: Pilkington Environmental Advisory Service, "Windows and Environment", 1969. Su base estadística corresponde a individuos aclimatados a regiones templadas.

institución profesional que había promovido y perfeccionado dicho índice para la práctica general lo sustituyó por otro que trata de combinar la fundamentación psicológica con la fisiológica.^{5/}

Las críticas a la TEC se centraban en el hecho de que el índice en cuestión, en determinadas circunstancias, tendía a ponderar excesivamente el factor de la humedad, dando lugar a algunas distorsiones cuando se aplicaba en regiones frías y secas. A pesar de todo, la "temperatura efectiva corregida" continúa hoy siendo un índice sumamente útil, especialmente en las áreas climáticas que tiendan a ser algo cálidas y húmedas; por ello se seguirá haciendo uso del mismo en el contexto de este trabajo para determinar las "zonas de confort térmico".

b) Zona de confort

En el planteamiento original, los nomogramas que ayudaban a obtener gráficamente la TEC incluían una "zona de confort" que correspondía casi exactamente al intervalo entre los 18° TEC y los 21.5° TEC. Este margen de confort, al presentarse como universal, no tomaba en consideración el factor de aclimatación que, como la práctica cotidiana indica, puede modificar considerablemente la ubicación de la zona de confort. Se realizaron posteriormente esfuerzos por ajustar dicha zona de confort en función de algún parámetro climático que fuera determinante a efectos de la aclimatación. El intento más completo en este sentido es el que se describe en P. Wakely, (1979), y que relaciona la ubicación de la zona de confort con la temperatura media anual del lugar de que se trate. La gente que vive habitualmente en una zona calurosa encuentra confortable una TEC más alta que aquella que satisfaría las exigencias de confort biotérmico de gente aclimatada a condiciones más frescas. Es detectable también una aclimatación a los márgenes de oscilación anual de la temperatura. Es decir que no sólo la ubicación media, sino también la amplitud de la zona de confort se verá determinada por el factor de aclimatación. El método de Wakely se basa en la consideración empírica de que, en zonas templadas y cálidas, por cada °C que suba

^{5/} Véase el ASHRAE Guide, 1977. El nuevo índice es la TS que para una HR de 50% haría sudar al sujeto con la misma intensidad.

la temperatura media anual aumentará 0.25°TEC el nivel medio de la zona de confort, medida en la escala de temperaturas efectivas corregidas. El procedimiento práctico que prescribe Wakely es el siguiente:

1) Conseguir los datos climatológicos siguientes: Temperatura máxima media mensual más alta del año; temperatura mínima media mensual más baja del año; temperatura media anual. En caso de que no se conozca este último dato, puede calcularse con buena aproximación promediando los dos primeros datos. Lo mejor desde luego sería conseguir de alguna estación meteorológica que corresponda a la zona geográfica que se esté estudiando, un gráfico en el que consten las temperaturas mínimas, medias y máximas mensuales.

2) Calcular la posición del centro de la zona de confort: T_{cc} , a) si la temperatura media anual (T_{ma}) es menor que 11°C , $T_{cc} = 20^{\circ}\text{TEC}$, b) si T_{ma} es mayor que 11°C , entonces $T_{cc} = \frac{T_{ma}}{4} + 17.2$.

3) Calcular la amplitud de la zona de confort. Para ello se comienza por determinar la oscilación media anual de la temperatura del aire: bastará hallar la diferencia entre los dos primeros datos climatológicos señalados: máxima media mensual, más alta y mínima media mensual, más baja.

La amplitud de la zona de confort, en $^{\circ}\text{TEC}$, se determina entonces mediante el cuadro siguiente:

Oscilación media anual de la temperatura del aire en $^{\circ}\text{C}$	Amplitud de la zona de confort en $^{\circ}\text{TEC}$
menos de 13	2.5
13 - 15	3.0
16 - 18	3.5
19 - 23	4.0
24 - 27	4.5
28 - 32	5.0
33 - 37	5.5
38 - 44	6.0
45 - 51	6.5
más de 51	7.0

Esta amplitud, centrada en torno a T_{cc} , determina los límites de la zona de confort.

/c) Ejemplificación

c) Ejemplificación

Se propone determinar la "zona de confort" de la localidad de Chinandega, en la zona del Pacífico de Nicaragua, siguiendo el procedimiento propuesto por Wakely.

En la figura 3 se representa la evolución anual de las temperaturas.^{6/}

Promediando las medias mensuales se obtiene una media anual de 26.6°C.

Si sólo se hubiera contado con el dato de la temperatura máxima media mensual más alta (febrero, 33.8°C) y el de la mínima media mensual más baja (enero, 19°C) promediándolos se obtendría una media anual, bastante aproximada, de 26.4°C.

El centro de la zona de confort queda fijado por la ecuación:

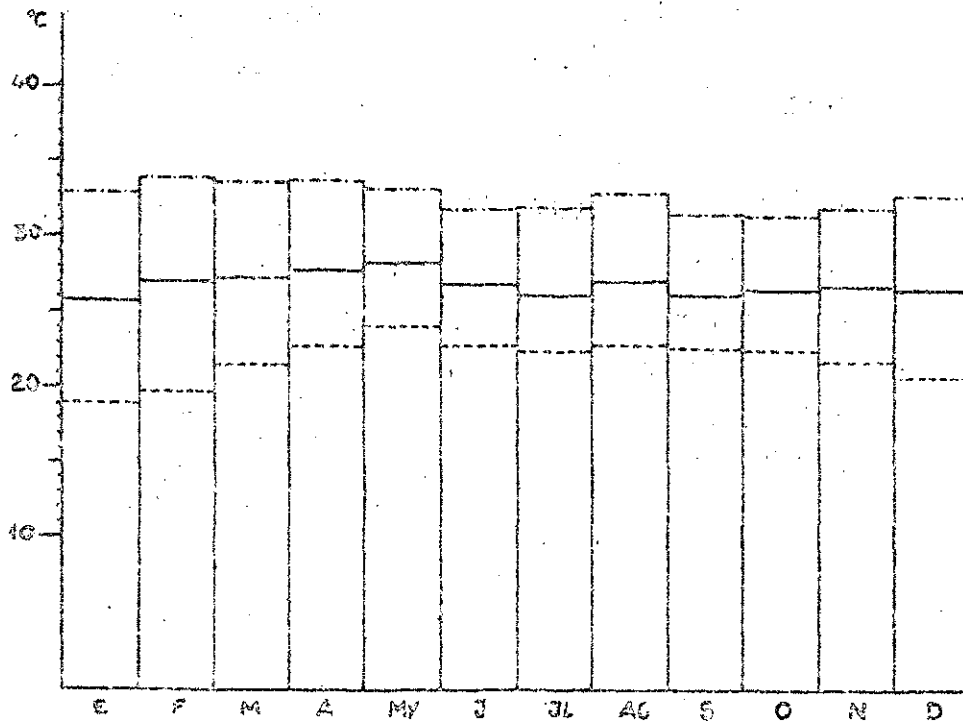
$$T_{cc} = \frac{26.6}{4} + 17.2 = 24^{\circ}\text{C}$$

La oscilación media anual es de 33.8 - 19 = 15°. Por lo tanto, se puede contar con una amplitud de la zona de confort de 3°TEC; el margen de confort se extenderá pues, en Chinandega, de 22.5°TEC a 25.5°TEC. Se supondrá ahora que se desea determinar las condiciones de confort de un empleado que trabaje en Chinandega, con una TS de 30° y una HR, muy común en el lugar, de 80%. El uso del nomograma de las TEC, una vez ubicada la zona de confort que se acaba de delimitar, indica inmediatamente que para que se encontrara a gusto el empleado, el aire de su oficina necesitaría moverse a la velocidad mínima de 2.5 m/s, lo cual podrá conseguirse con un ventilador. Si éste se descompusiera y el movimiento del aire se tornara casi imperceptible, el empleado tendría que conseguir que la TS bajara a 27°C (TH = 24°C) para encontrarse otra vez en la zona de confort.

^{6/} Datos extraídos del Anuario Estadístico 1978, publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, República de Nicaragua. Corresponden al promedio de los años 1974-1978.

Figura 3

REGIMEN ANUAL DE TEMPERATURAS EN CHINANDECA, NICARAGUA



d) Cartas bioclimáticas

Olgay (1963) propuso una forma de expresión de la zona de confort que presenta ventajas por la inmediatez de su consulta: se trata de la "carta bioclimática", que utiliza la HR como abscisa y la TS como ordenada.

Se señala sobre la misma una zona de confort, correspondiente a una situación estacionaria del aire y a una TRM = TS. Además, y esto es lo que la hace interesante, la carta bioclimática de Olgay señala, para los puntos que se apartan de la zona de confort, aquella medida correctiva (incremento de la velocidad del aire, de la humedad o de la radiación) que restablecería la sensación de confort.

En la figura 4, se muestra una adaptación métrica de la carta bioclimática de Olgay. Este instrumento fue diseñado para latitudes medias (próximo a los 40°) e individuos vestidos normalmente, que se encuentren realizando un trabajo sedentario. No se ha establecido un procedimiento claro para adaptarlo a las zonas tropicales. ^{1/}

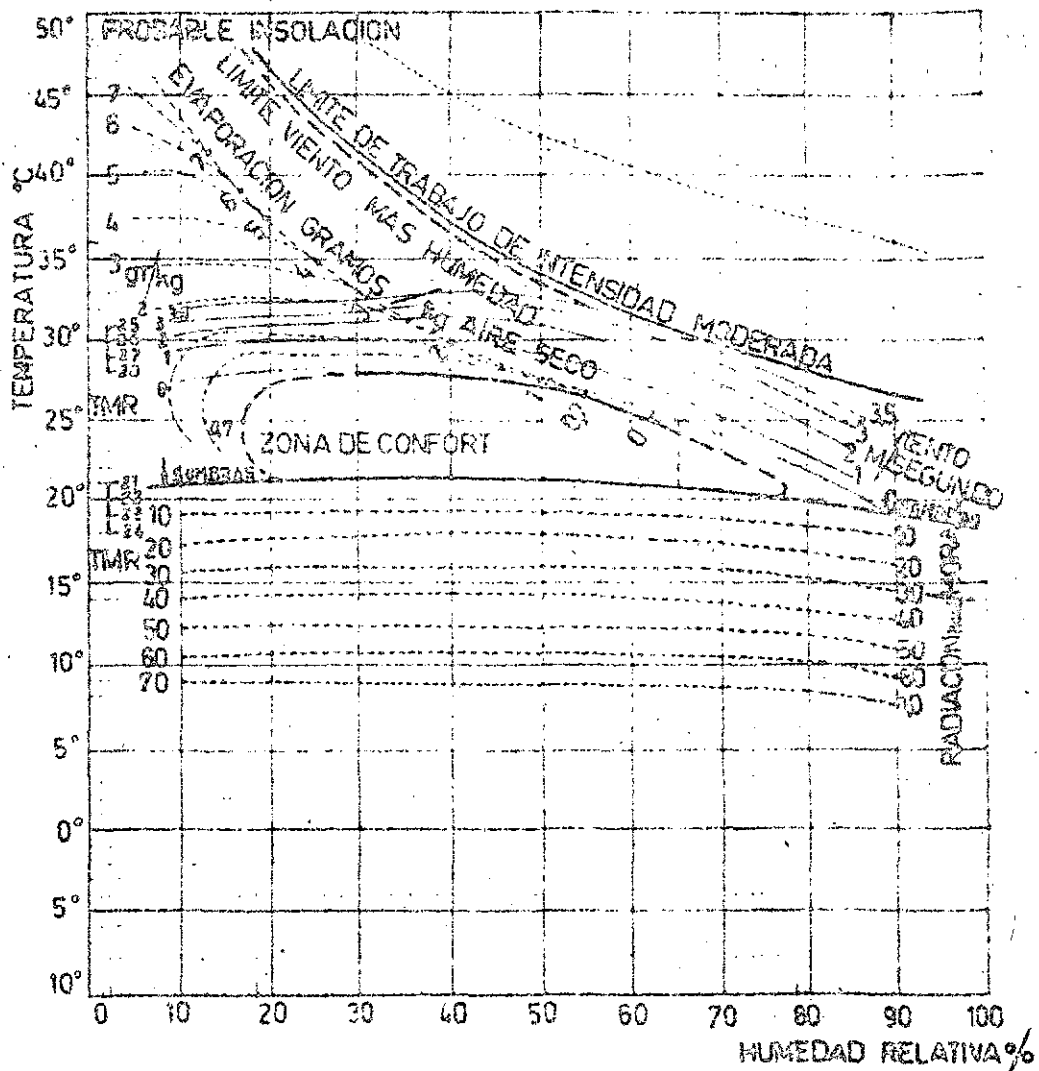
8. "Crítica de la bioclimatología política"

No se debiera cerrar el tema sin someter a crítica las opciones de partida y los cauces por los que se ha venido desarrollando hasta ahora la investigación bioclimática. Algo se ha mencionado ya cuando se identificaba a la psicología industrial, en sentido amplio, y a la mercadotecnia del "hardware" del acondicionamiento mecánico del aire como los sustratos operativos que daban sentido a las dos principales corrientes de investigación bioclimática. Ambas, en definitiva, se han desentendido prácticamente del nexo que el conocimiento bioclimático pudiera y debiera mantener con la práctica del diseño de los asentamientos humanos. El problema del confort o del stress térmicos se ha abordado en forma aislada y abstracta. Todo

^{1/} La posibilidad que sugiera Olgay (1963), de elevar la base de la zona de confort 0,75°F por cada 5° de latitud hacia el Ecuador conduce a resultados desproporcionados. Más adelante, en 1963, con ocasión de un viaje a Colombia, investigó el mismo autor la posibilidad de considerar la temperatura promedio de los 3 meses más cálidos como índice para una corrección de aclimatación.

Figura 4

CARTA BIOCLIMATICA (ADAPTADA DE CLGVAY, 1963)



/aquello

aquello que contribuiría a concretar dicha problemática: esquemas culturales, normas de indumentaria, variación de la actividad desarrollada, factores de aclimatación, etc., ha sido --con algunas excepciones ya reseñadas-- sistemáticamente evitado y subestimado en favor de un cálculo formal, abstracto, "estándar", que parece suponer "necesidades eternas" en el hombre. Esta investigación bioclimática aislada ha consumido una enorme cantidad de recursos para afirmar su base experimental; ha conseguido así juntar un maremágnum de datos --algunos contradictorios entre sí-- y sintetizar buen número de modelos predictivos, cuya precisión resulta en general más ficticia que real. No se olvide que se detectan normalmente márgenes de variación de 4°C y más en la determinación de zonas de confort que obtengan consenso de más del 50% de los encuestados, incluso una vez operada la consabida reducción de variables (individuos medios, vestidos ligeramente, etc.). La problemática que parece hallarse en el origen de tantas investigaciones presentes pudiera formularse en la siguiente forma:

Si se tuviera que ofrecer a una determinada población unas condiciones bioclimáticas absolutamente fijas, constantes, ¿cuáles serían esas condiciones para que pudieran satisfacer las exigencias de confort térmico de la mayoría? La experiencia cotidiana previene contra semejantes reducciones, y demuestra que la consecución de unas condiciones bioclimáticas fijas y constantes, así sean ellas estadísticamente "confortables", no constituye una respuesta a nuestras necesidades vitales concretas, sino a las del sector más conservador de los ingenieros climatizadores.

Lo que los usuarios requieren es una variedad estimulante de situaciones climáticas, una posibilidad de control individual y, sobre todo, una reducción drástica de los costos, directos e indirectos.

Parece haber llegado el momento de reorientar las inversiones de investigación,^{8/} sin detener por ello valiosos programas de sólida base científica, como por ejemplo el del profesor B. Givoni y colaboradores.

^{8/} Podrían así aparecer programas nuevos, hasta ahora "tabús", como el de indagar las repercusiones negativas sobre la salud de los sistemas mecánicos de acondicionamiento.

Se sabe lo suficiente, en lo que respecta al confort térmico, como para tratar de establecer directrices de diseño que eviten las graves calamidades ambientales que todos padecemos especialmente en nuestras áreas urbanas. Carece de sentido seguir buscando las "condiciones bioclimáticas óptimas", de validez universal, sencillamente porque no existen. Evitar los desastres, en este contexto, parece más sensato que perseguir, fetichistamente, unos óptimos inexistentes.

IV. DETERMINACIONES MACROCLIMATICAS

1. La atmósfera terrestre

Es la capa gaseosa que rodea al planeta, lo protege contra la excesiva radiación solar, redistribuye la energía recibida y constituye el medio insustituible para el desarrollo de la vida.

a) Composición

La atmósfera terrestre está constituida por una mezcla de gases (aire) con partículas sólidas (polvo, hielo, etc.) y líquidas (gotas de agua) en suspensión.

Hasta una altura considerable (unos 80 kms.), la composición del aire seco es notablemente constante:

(Porcentajes en volumen)

Nitrógeno	N ₂	78.08%
Oxígeno	O ₂	20.95%
Argón	A	0.93%
Bióxido de carbono	CO ₂	0.03% ^{1/}

El agua, en forma de vapor, cristales de hielo o gotitas en suspensión, sólo está presente en las capas bajas de la atmósfera (hasta unos 20 kms., como máximo) y en proporción cuantitativamente muy pequeña: las moléculas de agua representan como máximo el 4% del número total de moléculas del aire (sobre mares cálidos o junglas del trópico húmedo). Esta cifra bajaría sobre los desiertos a menos del 1%.^{2/}

b) Presión

La densidad aproximada del aire en contacto con la superficie terrestre es de 1.2 kg/m³. Esta densidad va disminuyendo con la altura. En correspondencia, la presión media que, a nivel del mar, es de unos 1 013.25mb (un milibar = 100 Newton/m²) también va disminuyendo con la

^{1/} Se encuentran también trazas de otros gases, como el ozono, que aunque cuantitativamente insignificantes, ejercen un importante efecto cualitativo sobre el estado atmosférico.

^{2/} Expresada la humedad como presión de vapor, se tendría un margen de variación que iría de unos 0.2 mb en invierno en Siberia, hasta unos 30 mb en verano en el trópico húmedo; poca cosa cuando se compara con los 760 mb del N₂ o los 240 mb del O₂.

altura y lo hace en forma exponencial. Cada prisma estable de aire se encuentra en equilibrio: el diferencial de presiones entre la cara inferior y la superior determina una fuerza que es igual y de sentido contrario a la de la gravedad terrestre.

No existe un límite absoluto para la presencia atmosférica (de hecho, algunas moléculas se pierden en el espacio sideral), pero casi el 50% del total de la masa atmosférica se encuentra por debajo de los 5 kms. de altura (límite aproximado de habitabilidad, correspondiente a una densidad de unos 0.7 kg/m^3), el 75% está contenido en la tropósfera (de 0 a 10 kms. aprox.) y el 99% se ubica en los primeros 30 kms. Comparando estas cifras con el radio de la tierra (≈ 6370 kms.), se puede apreciar que la atmósfera, que ha hecho posible la vida en este planeta, apenas representa sobre la esferaterrestre una delgada película que deberíamos tener todo el interés del mundo en conservar en condiciones óptimas.

c) Temperatura

Desde el siglo XVIII por lo menos, se sabe que la temperatura del aire decrece con la altitud, a un ritmo casi constante. No es sino hasta los últimos años del siglo pasado cuando se descubre que este decrecimiento se detiene a una determinada altura e incluso se invierte la tendencia cuando sigue ascendiendo. Las experiencias acústicas, los globos sonda y, más recientemente, los cohetes de altura permitieron ir descifrando el comportamiento térmico, que resultó ser bastante complejo, del conjunto de la atmósfera.

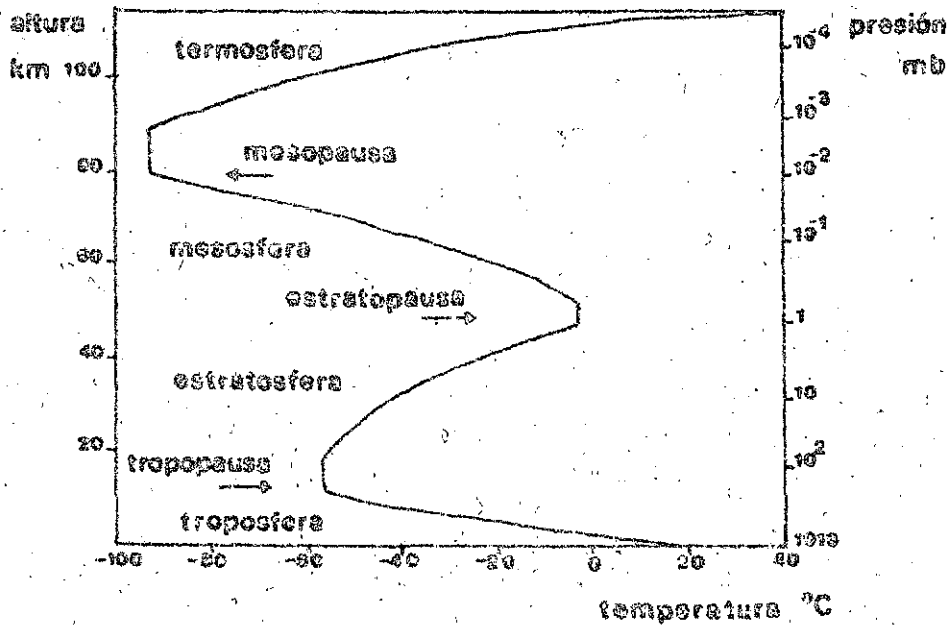
La figura 5 sintetiza el resultado de estas investigaciones. Como se aprecia en el gráfico, las tendencias térmicas son las que determinan la taxonomía de las capas atmosféricas; se distingue así la tropósfera (hasta unos 10 kms., temperatura decreciente hasta unos -55°C), la estratósfera (hasta 50 kms., temperatura creciente, puede llegar hasta 0°C), la mesósfera (hasta 80 kms., temperatura decreciente otra vez, alcanza los -90°C) y la termósfera (en la que la temperatura crece continuamente otra vez).^{3/}

^{3/} En algunos gráficos pueden apreciarse temperaturas en la termósfera de más de 1700°C . Es conveniente recordar que se trata de temperaturas teóricas, evaluadas en función de la energía dinámica de las moléculas; pero la presión es tan baja a esas alturas, y las moléculas tan escasas y dispersas, que un astronauta podría sacar la mano al exterior en la termósfera sin quemársela.

Las superficies, que señalan los límites superiores de estas capas se denominan sucesivamente: tropopausa, estratopausa y mesopausa. El comportamiento térmico de la atmósfera, aparentemente tan extraño, se explica perfectamente por las diferentes capacidades de absorción de las radiaciones solares --directas o indirectas-- que presentan las sucesivas capas atmosféricas.

Figura 5

LAS CAPAS ATMOSFERICAS



Los principales hechos de interés climatológico tienen lugar en la tropósfera. Tiene ésta un espesor variable en función de la latitud: La tropopausa se sitúa a unos 8 kms. sobre los polos, pero puede ascender hasta los 16 kms. sobre el ecuador; presenta además una fuerte discontinuidad, relacionada con las "corrientes de chorro".

/La disminución

La disminución de la temperatura en la tropósfera tiene lugar a un ritmo (gradiente térmico) promedio de unos $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Esta característica es de sumo interés para los asentamientos humanos: es de todos conocido que el "clima de altura" es más fresco que el que se da en latitudes equivalentes pero en zonas de poca altitud. En las regiones tropicales, este atemperamiento de la temperatura media en función de la altura puede haber influido determinadamente en la ubicación de los asentamientos.^{4/}

La curva que relaciona, en la tropósfera, la temperatura con la altura, en un determinado lugar, se denomina "curva de estado". Generalmente, tiende a ser una línea recta que se curva en contacto con la superficie terrestre. Frecuentemente se detectan anomalías que consisten en que, en algún tramo de la curva de estado, la temperatura se mantiene o aumenta, en vez de disminuir. Esto es lo que se conoce como inversión térmica, y puede darse tanto cerca de la superficie como en altura. Incluso podría considerarse que la estratósfera constituye una poderosísima inversión que sirve de "tapadera" a la tropósfera. Cada inversión determina un sistema casi cerrado por debajo de la altura a la cual se produce. Por ello, el conocimiento de la magnitud y ubicación de las inversiones en la baja tropósfera resulta imprescindible para predecir los riesgos de crisis por contaminación atmosférica: debido a la inversión, los polvos y gases tecnógenos dispondrán de un menor volumen para su dilución.

Sobre este filtro y escudo protector que constituye la atmósfera actúa continuamente la radiación solar. Antes de cuantificar sus efectos se estudiarán las relaciones geométricas, posicionales, que se establecen entre nuestro planeta y la fuente de dichas radiaciones, el sol.

2. Soleamiento: movimiento aparente del sol

a) Movimientos relativos del sol y la tierra

Aunque el sol no ocupa una posición fija en el espacio, a efectos del estudio de los movimientos relativos del sol y de la tierra se puede suponer inmóvil. La tierra realiza entonces dos movimientos simultáneos respecto al sol: el de traslación y el de rotación.

^{4/} Nótese, sin embargo, que la temperatura del aire de una ciudad ubicada en altitud no corresponde a la que se daría a esa misma altitud, pero sobre el mar o sobre tierras bajas; será en general más alta debido al calentamiento producido por el contacto con las superficies sólidas.

i) Movimiento de traslación. La tierra describe una trayectoria plana, llamada eclíptica, en torno al sol. La eclíptica tiene la forma de una elipse, pero con muy poca diferencia relativa entre el radio mayor y el radio menor. Los dos polos de la elipse se encuentran bastante próximos; el sol ocupa la posición de uno de ellos. El período del movimiento de traslación es de un año solar (365 días y fracción).

ii) Movimiento de rotación. La tierra, al mismo tiempo que recorre la eclíptica, gira sobre sí misma en torno a un eje denominado "Norte-Sur geográfico" (ligeramente distinto del Norte-Sur magnético). Este eje mantiene en todo momento invariable su dirección.^{5/} El período del movimiento de rotación es de un día solar (24 horas aprox.).

iii) Día, noche y estaciones. La esfera terrestre, iluminada por los rayos prácticamente paralelos del sol, presenta siempre una semiesfera iluminada y otra en sombra. En un instante determinado, será de día en los puntos del planeta que se sitúen en la semiesfera iluminada, y será de noche en los que se encuentren en la semiesfera en sombra.

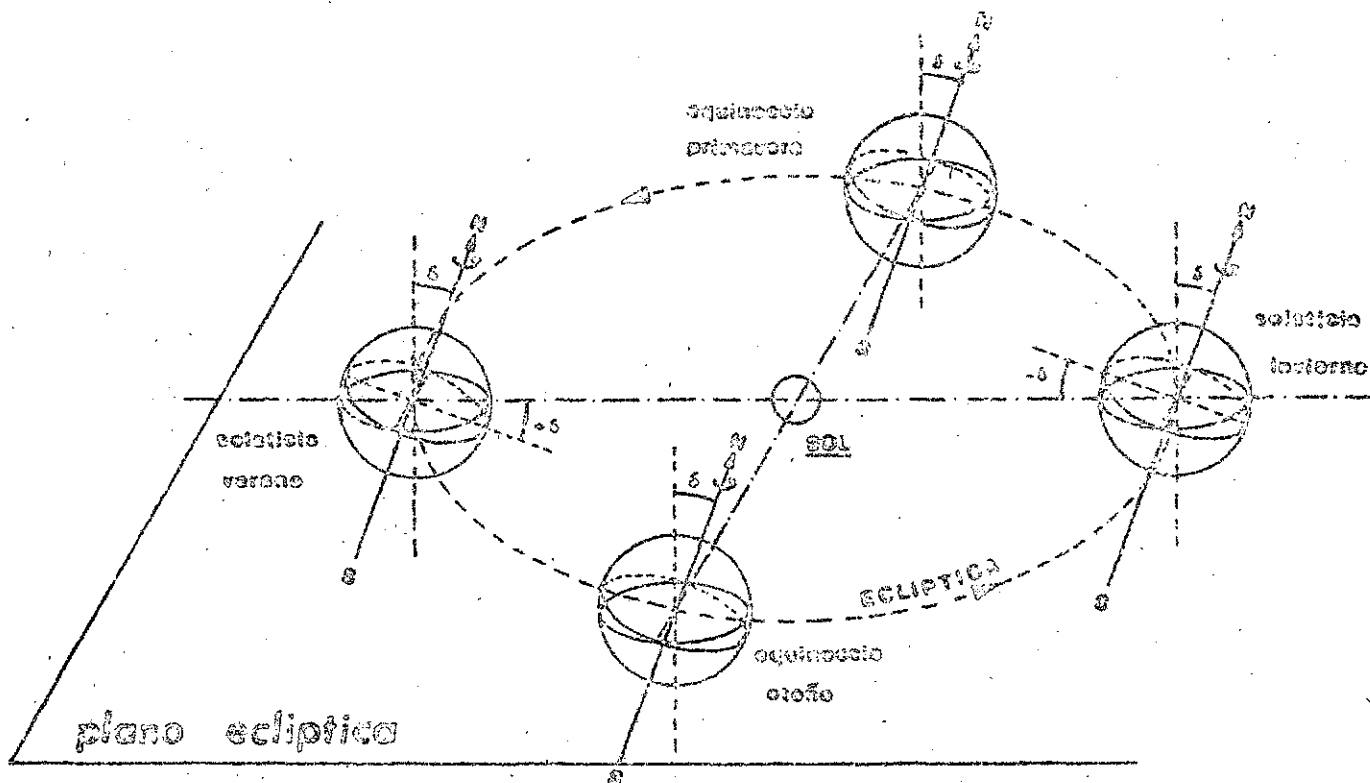
El fenómeno de las estaciones se explica por el movimiento de traslación terrestre. Es un error frecuente pensar que las estaciones están determinadas por la distancia tierra-sol. El error consistiría en suponer que el verano corresponde al sector de la eclíptica más cercano al sol. En primer lugar, se debe recordar que la eclíptica es de forma casi circular^{6/} y que, además, a la estación más calurosa en el hemisferio norte corresponde la más fría en el hemisferio sur, y viceversa. La explicación de las estaciones no reside en la distancia tierra-sol, sino en la inclinación con la que las distintas latitudes del planeta reciben los rayos solares. En cada punto de la superficie de la tierra la intensidad de la radiación solar recibida será tanto mayor cuanto menor sea el ángulo entre el radio terrestre que pasa por el lugar y la dirección de los rayos solares, es decir, cuanto más "a plomo" incida el rayo solar. (Véase la figura 6.).

^{5/} En realidad, el eje de giro de la tierra sufre un movimiento oscilatorio cónico, como el de una peonza, pero sumamente lento (período: unos 26 000 años). Este movimiento determina el fenómeno de la "precesión de los equinoccios" que presenta un interés puramente astronómico, pero ninguna repercusión práctica en nuestra vida cotidiana. Se detectan igualmente algunas otras irregularidades menores, que el diseñador puede y debe ignorar.

^{6/} La distancia tierra-sol oscila entre 147×10^6 km. (perihelio: 4 de enero y 152.2×10^6 km. (afelio: 5 de julio). Este hecho determina una pequeña variación en la energía radiante recibida, que queda, sin embargo, completamente enmascarada por los múltiples factores climatológicos. /Figura 6

Figura 6

MOVIMIENTO DE LA TIERRA EN TORNO AL SOL



iv) Conceptos geográficos básicos

Ecuador: Círculo máximo producto de la intersección de la esfera terrestre por un plano que pasa por el centro y es perpendicular al eje N-S geográfico. (En lo sucesivo, cuando se mencione el eje N-S, se entenderá siempre que se alude al N-S geográfico.)

Constante eclíptica: Ángulo constante que forma el eje N-S con una perpendicular al plano de la eclíptica. Este ángulo, δ , vale aproximadamente 23.45° ($\text{tg} \delta = 0.434$). El plano del ecuador, en sus sucesivas posiciones, y el plano fijo de la eclíptica forman un ángulo diédrico constante (igual a δ).

/Paralelos:

Paralelos: Circunferencias que resultan de seccionar la esfera terrestre por planos paralelos al plano del ecuador. Cada paralelo se caracteriza por su latitud.

Latitud: Angulo que forma el radio de la esfera terrestre que pasa por un lugar con el plano del ecuador. Se distinguirá entre latitudes N y latitudes S, por referencia a las dos semiesferas que determina el ecuador.

Plano meridiano: Todo plano que contenga al eje N-S.

Colatitud de un lugar: Angulo complementario al de la latitud.

Declinación:^{7/} Angulo formado por la intersección de un semiplano meridiano que pase por el centro del sol con el diedro formado por el plano del ecuador y el de la eclíptica. La declinación (d), depende pues de la posición que ocupe la tierra en la eclíptica. Se establece el siguiente convenio: La eclíptica divide el espacio en dos regiones. Se llamará "región N" a la que contiene al radio terrestre O.N. y "región S" a la que contiene al radio O.S. La declinación será positiva cuando el ángulo d se sitúe en la región S y negativa cuando se ubique en la región N. (Véase la figura 7.)

Equinoccios: Puntos de la eclíptica de declinación nula. Son dos: el equinoccio de primavera (21 de marzo) y el de otoño (23 de septiembre). En los equinoccios, el eje de intersección entre el plano del ecuador y el de la eclíptica pasa por el sol. El plano del ecuador contiene al centro del sol^{8/} en los equinoccios; la duración del día es igual a la de la noche. (Véase la figura 8.)

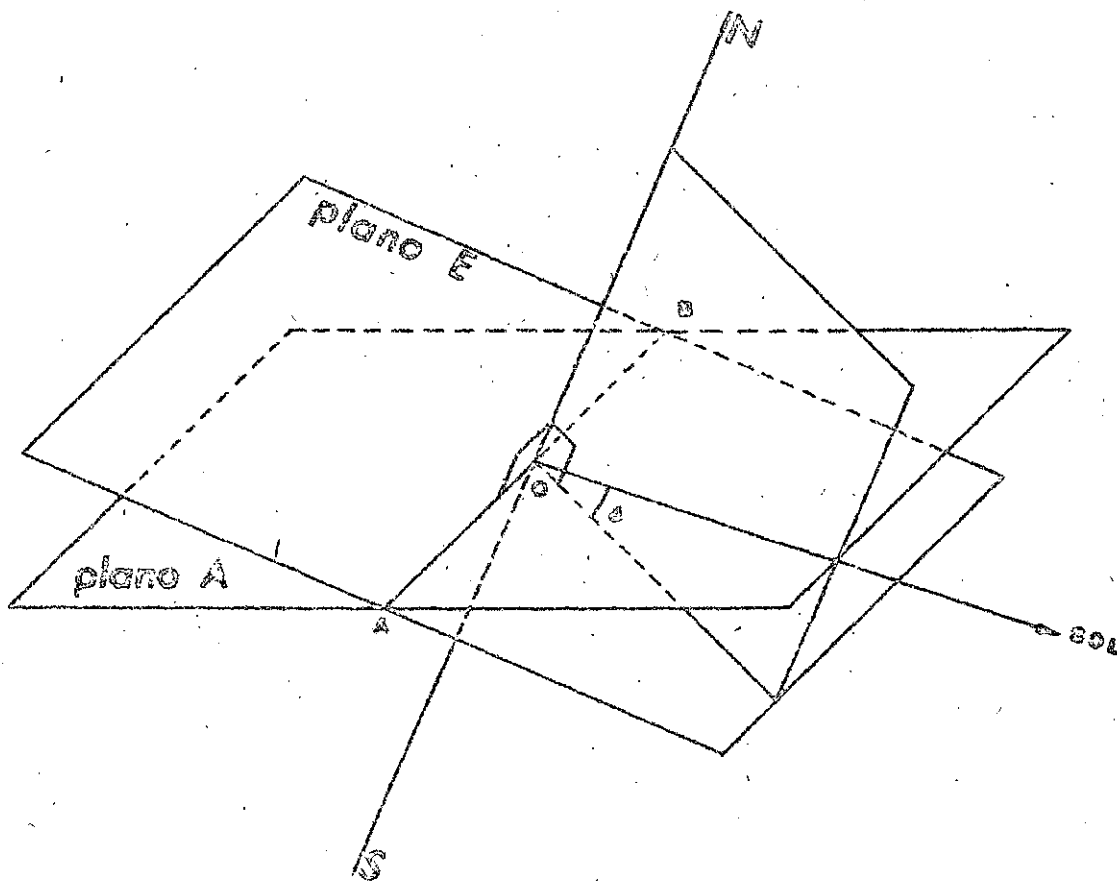
Solsticio de verano: Punto de la eclíptica de máxima declinación positiva ($d = + \delta = + 23.45^\circ$). Tiene lugar el día 22 de junio. (Véase la figura 9.)

^{7/} El término se usa también en la expresión "declinación magnética", para designar el ángulo que forma la dirección N-S geográfica con la N-S magnética.

^{8/} Se refiere este texto indistintamente al sol o al centro del sol, porque visto desde la tierra, el diámetro solar subtiende un ángulo de sólo medio grado, aproximadamente. A efectos del diseño arquitectónico o urbano, no hay inconveniente en asumir la naturaleza puntual del sol.

Figura 7

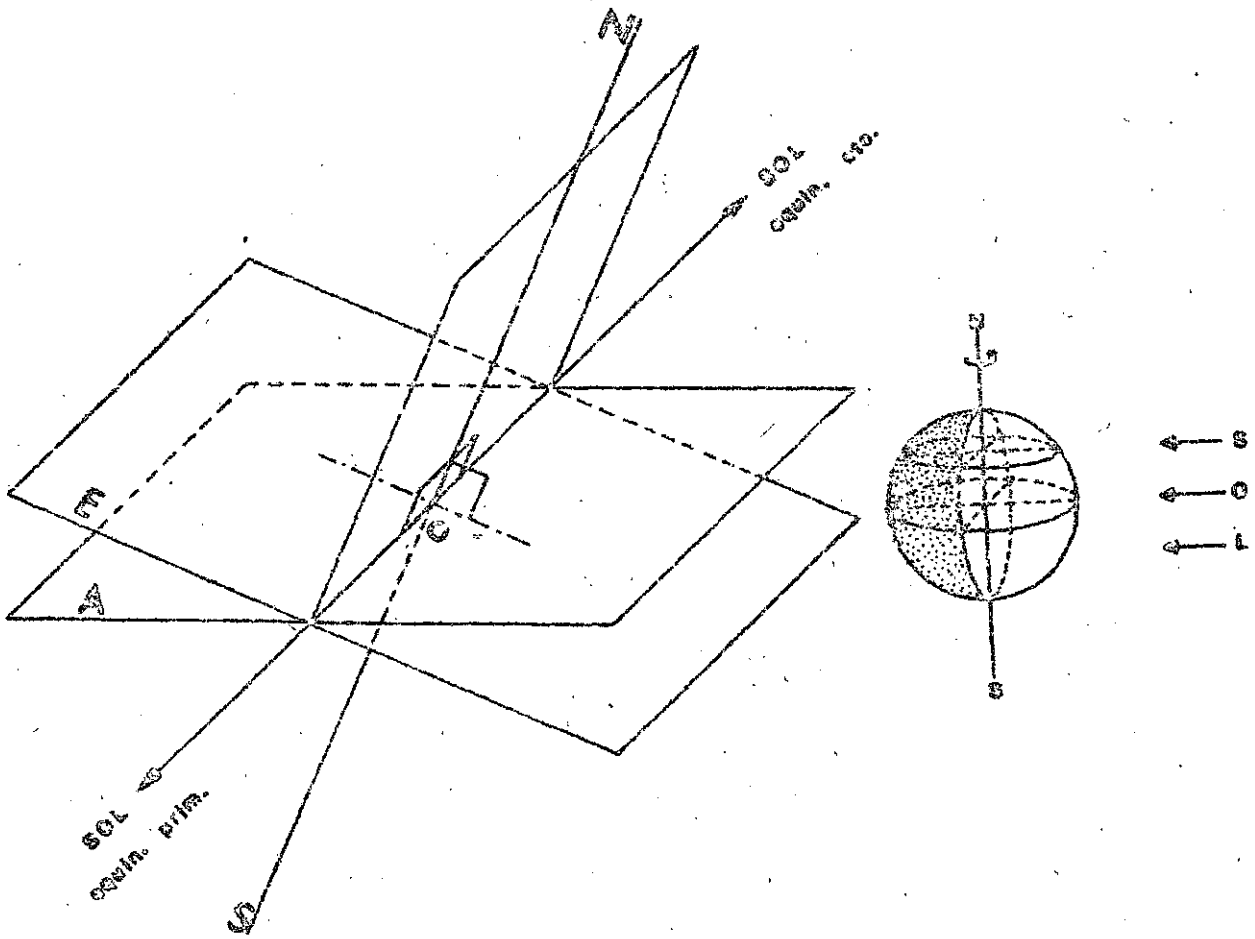
REPRESENTACION GEOMETRICA DE LA DECLINACION



Plano A: Plano de la eclíptica
Plano E: Plano del ecuador
d: Declinación (positiva, en este caso)

/Figura 8

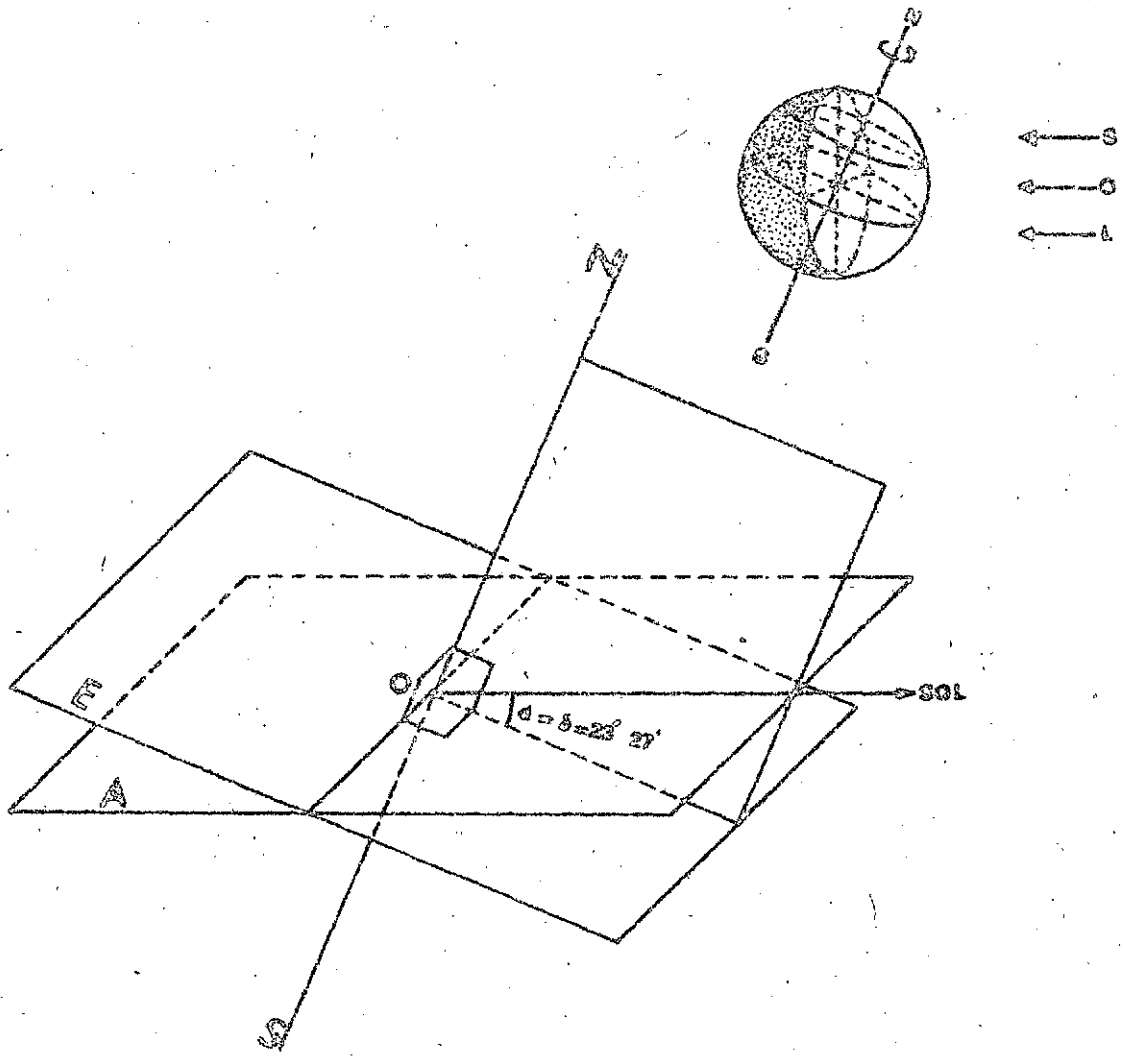
Figura 8
EQUINOCCIOS DE PRIMAVERA Y OTOÑO



En ambos casos, $d = 0$

/Figura 9

Figura 9
SOLSTICIO DE VERANO



$$d = + \delta = + 23.45^\circ$$

/Solsticio de

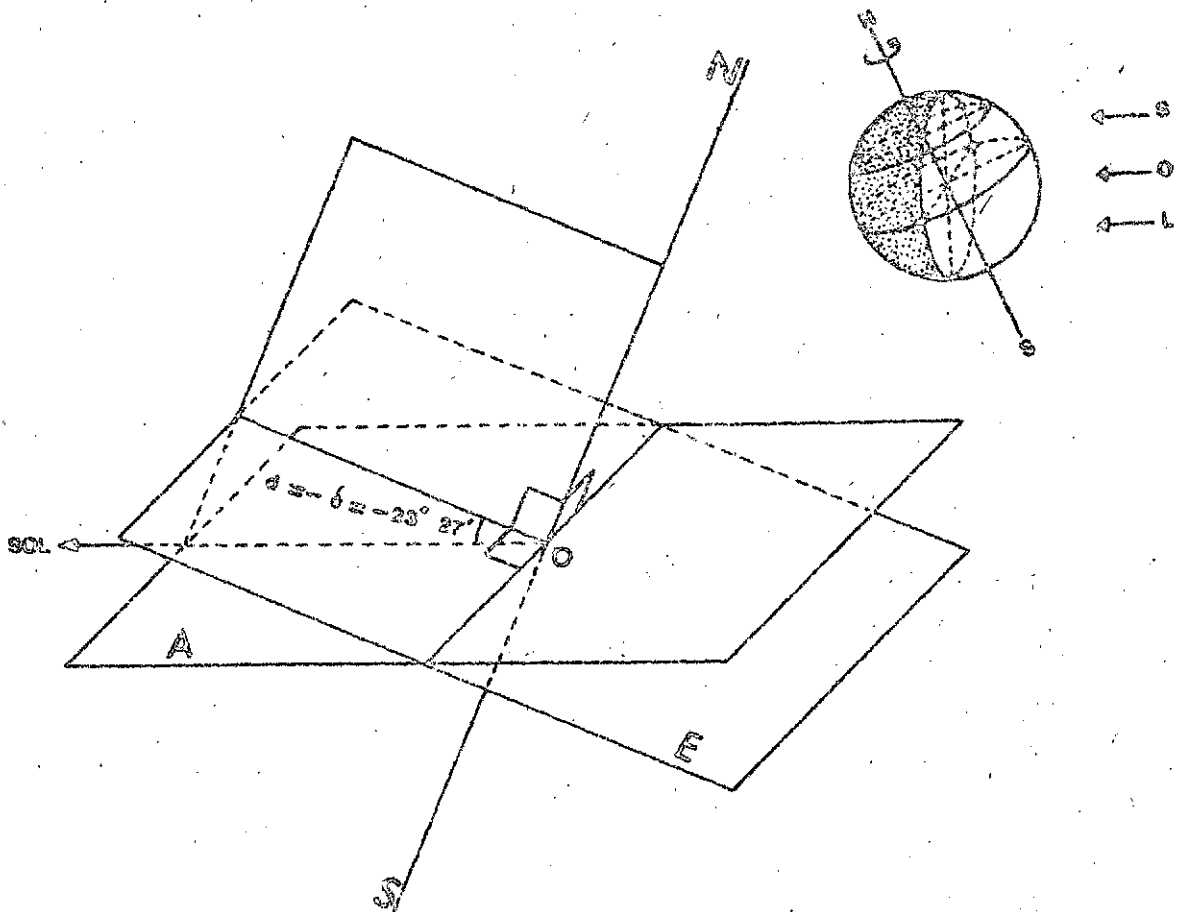
Solsticio de invierno: Punto de la eclíptica de máxima declinación negativa. ($d = -\delta = -23.45^\circ$). Tiene lugar el día 22 de diciembre. (Véase la figura 10.)

En los solsticios se produce la máxima diferencia entre la duración del día y de la noche. Para cualquier punto del hemisferio norte, en el solsticio de verano se presentará el día más largo y la noche más corta del año, y en el solsticio de invierno se producirá lo contrario. En el ecuador, para cualquier período del año, el día tendrá la misma duración que la noche.

b) Movimiento aparente del sol

i) El interés del diseñador se centra, más que en las consideraciones puramente astronómicas, en el análisis del movimiento tierra-sol como experiencia vivida desde un lugar concreto. Es necesario ajustarse a la realidad fenomenológica por la cual se percibe el entorno físico como estable, fijo. Para ello, se invierte la situación real, considerando que la tierra ocupa una posición fija en torno a la cual se mueve el sol. Esto es posible en función del carácter relativo del movimiento de dos cuerpos cualesquiera. Para hacer operativa esta inversión "contracopernicana", determinada por las necesidades prácticas de los diseñadores, podrá imaginarse una esfera (que se denominará "esfera celeste") cuyo centro coincidiera siempre con el centro de la tierra y que poseyera un movimiento rotatorio idéntico al de la tierra. Para cada punto de la eclíptica, lo mismo daría imaginar que el sol está fijo y que la tierra y la "esfera celeste" que acaba de establecerse giran en torno al eje N-S, que considerar lo contrario: la tierra y la esfera celeste están fijas y el sol gira de tal forma que el radio terrestre que pasa por el sol dibuja sobre la esfera celeste un círculo. Visto desde la tierra, parecería que el sol describe un círculo sobre la esfera celeste. Se denomina "ecuador celeste" al círculo máximo obtenido por intersección de la esfera celeste con un plano perpendicular al eje N-S. La "latitud solar celeste" será el ángulo que forma el radio de la esfera celeste que pasa por el centro del sol con el plano del ecuador celeste. (Véase la figura 11.) Como se puede observar, la "latitud celeste" es exactamente lo que se denominaba declinación. Por tanto, el

Figura 10
SOLSTICIO DE INVIERNO

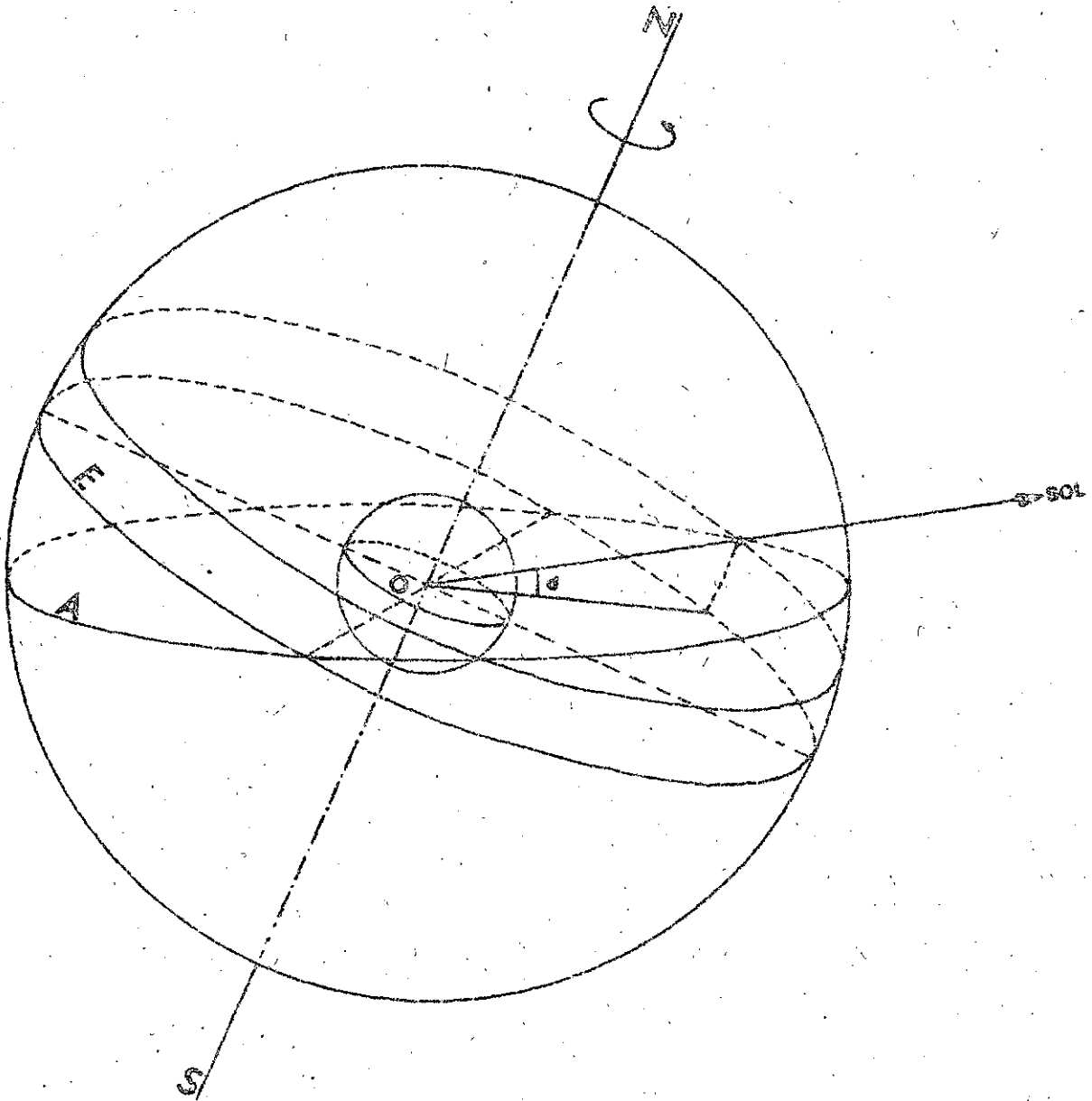


$$d = -\delta = -23.45^{\circ}$$

/Figura 11

Figura 11

EL MODELO DE LA ESFERA CELESTE



recorrido aparente del sol sobre la esfera celeste consistirá en un paralelo celeste cuya latitud (respecto al ecuador celeste) coincidirá con la declinación del día que se esté considerando. En los equinoccios, el sol recorrerá el ecuador celeste (paralelo de latitud = declinación = 0.) En el solsticio de verano, el sol recorrerá un paralelo celeste de latitud igual a la declinación máxima: 27.45° . En el solsticio de invierno el sol recorrerá un paralelo celeste de máxima latitud negativa: -27.45° .

ii) Observación referida al horizonte del lugar. El plano de horizonte de un punto concreto del planeta será el plano tangente a la esfera terrestre en ese punto. Dado que el radio terrestre ($\approx 6\,370$ Kms.) es despreciable frente a la magnitud de la distancia media tierra-sol (≈ 150 millones de Kms.) se puede transferir el plano de horizonte al centro de la tierra. Desde un lugar concreto de la superficie terrestre sólo será observable una semiesfera celeste, aquella que está limitada por el plano de horizonte del lugar.

El cenit es el punto de la esfera celeste producto de la intersección de la misma con el radio terrestre que pasa por el lugar. La semirrecta que parte del lugar de observación y se dirige hacia el cenit es perpendicular al plano de horizonte.

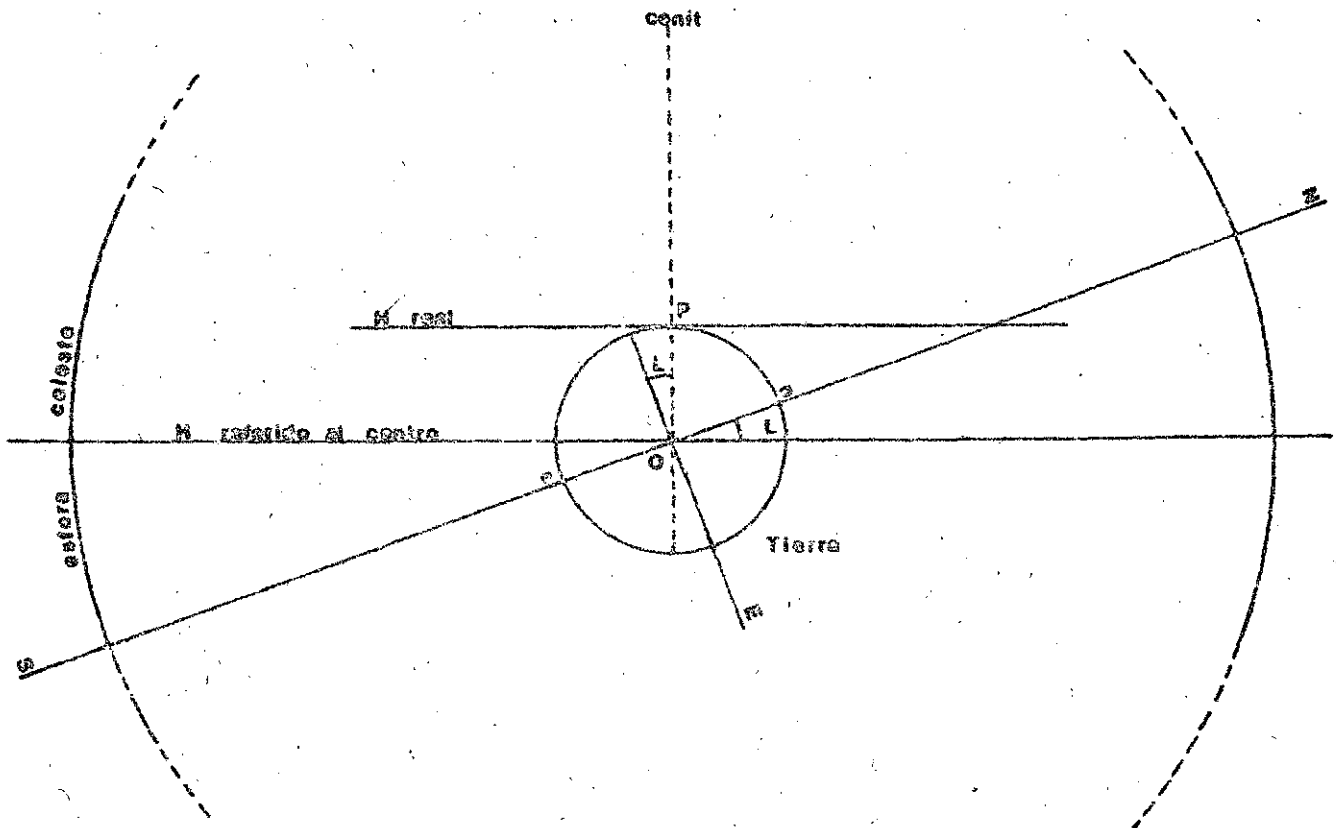
El eje N-S, común a la tierra y a la esfera celeste, formará un ángulo con el plano de horizonte. Como se observará en la figura 12, ese ángulo coincide forzosamente con la latitud del lugar. Los recorridos aparentes del sol, observables desde un punto concreto de la tierra, serán aquellos arcos de paralelos celestes que se hallen por encima del plano de horizonte del lugar.

Por medio del modelo de la "esfera celeste" se consigue reproducir con bastante exactitud el movimiento aparente del sol, tal y como se puede percibir desde un punto cualquiera de la superficie terrestre. El movimiento aparente del sol depende solamente de la latitud del lugar de observación. Todos los puntos situados sobre un mismo paralelo terrestre podrán observar el mismo movimiento aparente del sol.

iii) Coordenadas solares. Para fijar la posición del sol en un momento dado, tal como se observa desde un punto concreto de la superficie terrestre, se dispondrá de dos coordenadas: azimut y altura.

Figura 12

EL MODELO DE LA ESFERA CELESTE: CORTE POR EL MERIDIANO DE UN LUGAR P



a) El azimut (z) es el ángulo diédrico que forma el plano vertical (es decir, normal al plano de horizonte) que contiene al sol con el plano meridiano del lugar (es decir, el plano vertical que contiene al eje N-S,) (Véase la figura 13.)

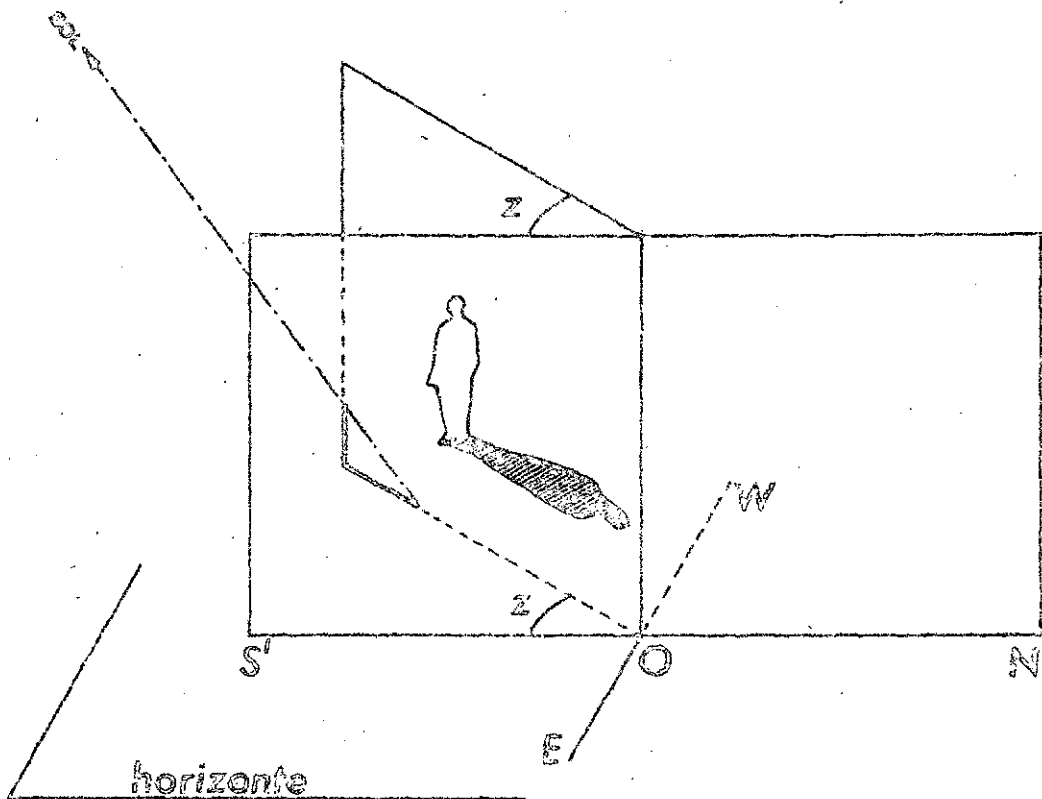
El azimut se mide a partir de OS^{9/}, proyección de OS sobre el plano de horizonte, y se indica si el ángulo se ubica hacia el E o hacia el W.

^{9/} Así se mide en Astronomía. A efectos de navegación, sin embargo, el azimut se mide a partir del norte.

/Figura 13

Figura 13

AZIMUT (z)



b) La altura (h) es el ángulo que forma el radio que pasa por el sol con el plano del horizonte. (Véase la figura 14.)

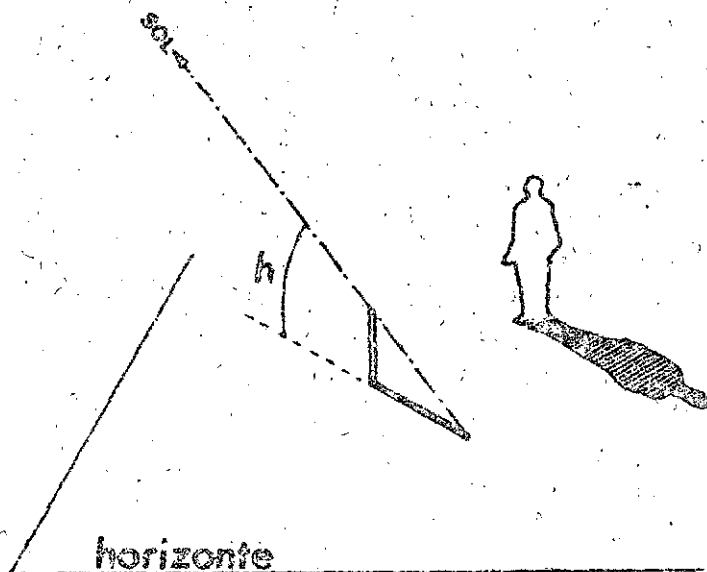
La altura de culminación, o máxima altura que alcanza el sol en un recorrido diurno cualquiera, corresponde siempre a un azimut nulo. La altura de culminación siempre tiene lugar a las 12 horas solares (mediodía solar).

Conociendo el azimut y la altura se podrá ubicar perfectamente la posición instantánea que ocupa el sol.

/Figura 14

Figura 14

ALTURA (h)



c) Cartas solares

Una carta solar es un modelo gráfico que permite conocer el movimiento aparente del sol, observado desde un lugar concreto.

Existen muchos tipos de cartas solares. No vale la pena que el diseñador trate de conocerlos todos. Bastará con que conozca la carta solar básica, de la cual derivan todas las demás.

1) La carta solar de proyección ortogonal consiste simplemente en la representación diédrica del modelo de la "esfera celeste" que se presenta en la figura 11, referido al horizonte del lugar tal y como se aprecia en la figura 12.

Como plano de proyección frontal se utilizará el plano meridiano del lugar; como plano de proyección horizontal se tomará el plano de horizonte del lugar.

/Se comenzará

Se comenzará por la proyección frontal. El plano de horizonte se proyecta según una recta $H^{\prime}H$. El eje N-S está contenido en el plano de proyección y forma un ángulo con $H^{\prime}H$ igual a la latitud del lugar. El ecuador celeste quedará representado por un segmento perpendicular al eje N-S. A partir del ecuador celeste, se podrá construir la representación de la trayectoria del sol en cualquier día del año: basta determinar el ángulo de latitud celeste (declinación de ese día) y dibujar la proyección del arco de paralelo celeste correspondiente, que aparecerá como un segmento paralelo al ecuador celeste. Por lo general, se representan solamente los recorridos solares en los equinoccios (declinación nula) y en los solsticios (declinaciones: $+ 23.45^{\circ}$ y $- 23.45^{\circ}$).

Atención especial merece la determinación de las horas solares. El sol recorre en 24 horas el círculo completo constituido por un paralelo celeste. A partir del punto de culminación (mediodía solar), se podrán ubicar las diferentes horas construyendo las intersecciones de la esfera celeste con el haz de planos meridianos que forman entre sí ángulos diédricos de 15° ($360^{\circ} / 24$ hrs.) Los puntos equihorarios conformarán arcos de círculos máximos que se proyectarán, tanto en proyección frontal como en horizontal, según arcos de elipse.

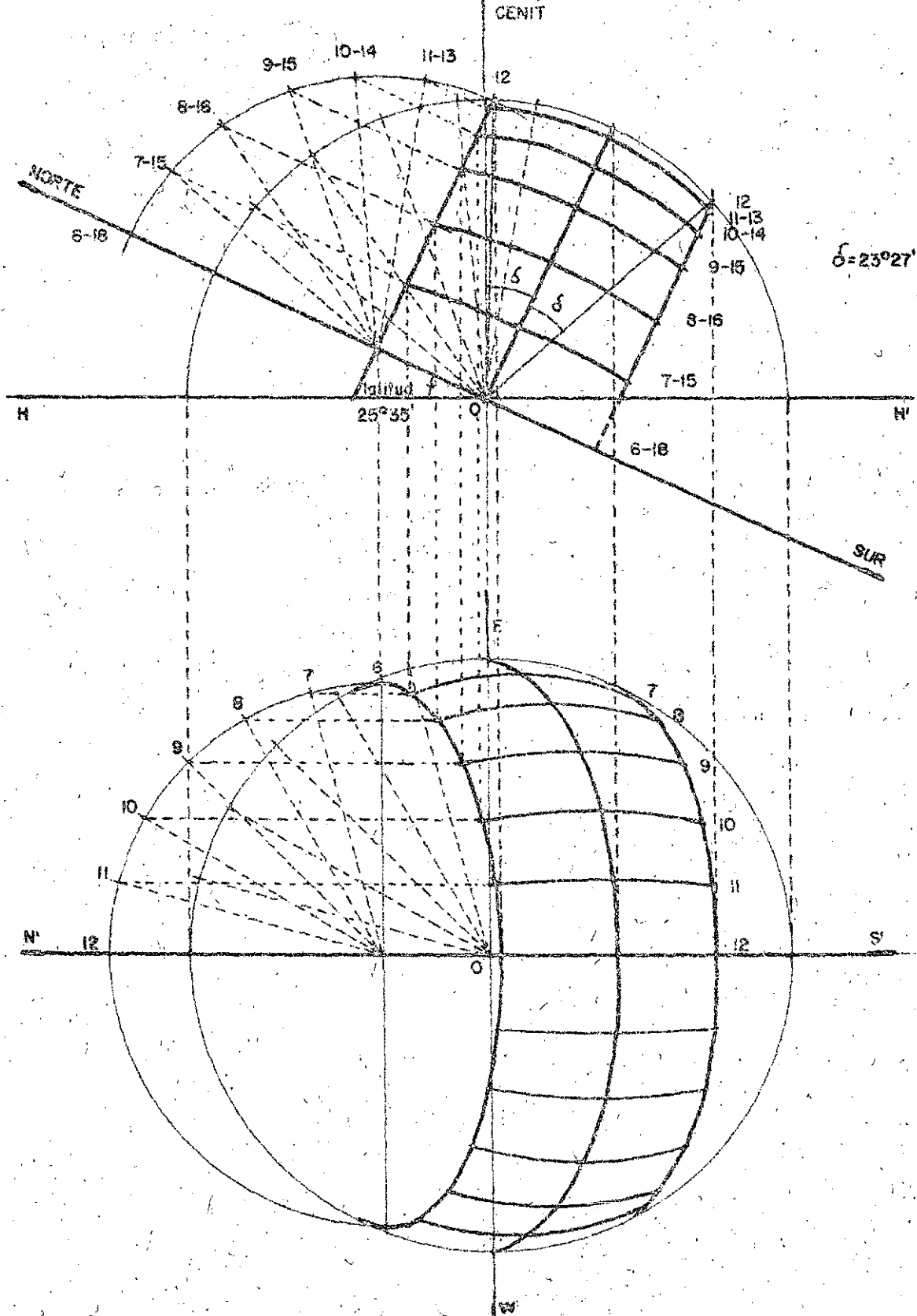
Utilizando cuidadosamente los procedimientos establecidos por la geometría descriptiva, se podrá sin dificultades construir la proyección horizontal (arcos de elipse) de los arcos de circunferencia que constituyen los recorridos solares. Se recomienda especial cuidado en la determinación de los encuentros de las proyecciones horizontales de las trayectorias con la traza horizontal de la esfera celeste. (Véase la figura 15.)

Un diseñador experimentado debe poder dibujar sobre mesa de dibujo en media hora una carta solar suficientemente aproximada correspondiente a cualquier lugar en el que tenga que intervenir con un diseño arquitectónico o urbano. Para ello sólo necesitará conocer previamente la latitud de ese lugar. Este dato lo puede obtener consultando cualquier atlas geográfico, aun elemental.^{10/}

^{10/} Existen otros tipos de proyección de la esfera celeste, como la estereográfica o la equidistante que ofrecerían algunas ventajas teóricas en la lectura de la carta, pero que exigen la comercialización de "gadgets" o la utilización de procedimientos de dibujo más complejos, fuera del alcance del diseñador común. Por ello, y en beneficio del autovalimiento, es preferible atenerse a la proyección diédrica corriente que permite al diseñador con un mínimo de conocimientos generales operar sin la engorrosa panoplia de diagramas comerciales, cursores enmascarados, etc.

Figura 15

CARTA SOLAR PARA LA LATITUD DE MONTERREY, NUEVO LEON, MEXICO (25°35'N)



Se representan los abatimientos (frontal y horizontal) del paralelo celeste correspondiente al solsticio de verano. Estos abatimientos permiten determinar los puntos horarios sobre aquel paralelo y también sobre el correspondiente al solsticio de invierno. Se recomienda la construcción por puntos de la proyección horizontal, utilizando para ello los puntos horarios obtenidos en la proyección frontal, así como el abatimiento horizontal.

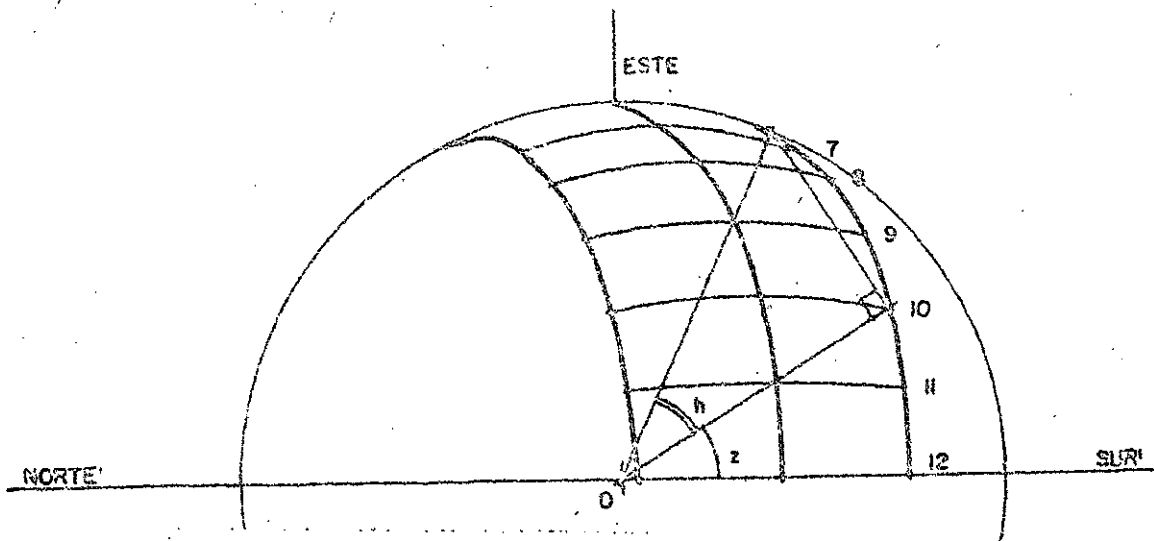
ii) Una vez dibujada la carta solar que interese se podrán determinar con facilidad las coordenadas (z y h) que nos indican la posición solar (y por tanto, la dirección de los rayos del sol) en un día concreto y a una hora solar determinada.

El azimut se puede leer directamente sobre la proyección horizontal de la carta solar.

Para conocer la altura solar bastará realizar un simple abatimiento sobre la proyección horizontal, utilizando como circunferencia abatida la misma traza horizontal de la esfera celeste. (Véase la figura 16.)

Figura 16

DETERMINACION DE LAS COORDENADAS SOLARES. ^{a/}



a/ Azimut y altura correspondientes a las 10.00 am., día del solsticio de invierno.

Sabiendo determinar la dirección de los rayos del sol para cada día y momento, se estará en condiciones de realizar el estudio de las sombras arrojadas reales que producirá cualquier construcción que se está proyectando.

d) Métodos numéricos

Gracias al hoy generalizado uso de calculadores de bolsillo que incluyen operaciones trigonométricas es factible realizar con comodidad el cálculo de la posición solar, por procedimientos numéricos. A partir de los datos iniciales (latitud del lugar, día del año y hora solar) se determinan los datos de cálculo, que son: a) la declinación (d) que es función del día del año. Se puede tomar del cuadro siguiente, que tabula las declinaciones aproximadas para los días 21 de cada mes:

Día	Declinación unificada aproximada
junio 21	+ 23.45°
julio 21 mayo	+ 20.33°
abril 21 agosto	+ 12.00°
marzo 21 septiembre	+ 0.50°
febrero 21 octubre	- 10.63°
enero 21 noviembre	- 19.92°
diciembre 21	- 23.45°

Nota: Adaptado de Olgyay, 1963.

b) El "ángulo horario" (T): es la hora solar expresada en grados del meridiano celeste del sol respecto a la posición del mediodía, es decir, el ángulo diédrico que forman dos planos meridianos celestes: el correspondiente al mediodía y el de la hora solar para la que se desea conocer la posición del sol. Se calcula fácilmente sabiendo que una hora solar equivale a 15° (24 horas ↔ 360°, una vuelta completa).

Mediante la calculadora, o en su defecto, mediante tablas trigonométricas, se procederá a determinar el sen y cos de los ángulos L, d y T. Las coordenadas solares (z y h) se calculan entonces utilizando las siguientes fórmulas:

$$a) \text{ sen } h = (\text{cos } L \cdot \text{cos } d \cdot \text{cos } T) + (\text{sen } L \cdot \text{sen } d)$$

$$\text{luego } h = \text{arc sen } \left[(\text{cos } L \cdot \text{cos } d \cdot \text{cos } T + \text{sen } L \cdot \text{sen } d) \right]$$

$$b) \text{ sen } z = \frac{\text{cos } d \cdot \text{sen } T}{\text{cos } h}$$

$$\text{luego } z = \text{arc sen } \left(\frac{\text{cos } d \cdot \text{sen } T}{\text{cos } h} \right)$$

/Ejemplo:

Ejemplo: Interesa calcular la posición solar en Monterrey, Nuevo León, México, a las 10 a.m. solares del día del solsticio de invierno.

$$L = 25.6^{\circ}\text{N}, d = 23.5^{\circ}, T = 2 \times 15 = 30^{\circ}$$

$$\text{sen } h = (\cos 25.6 \cdot \cos 23.5 \cdot \cos 30) + \text{sen } 25.6 \cdot \text{sen } -23.5)$$

Operando y redondeando, se obtiene $h = 33^{\circ}$

A continuación se determina z .

$$\text{sen } z = \frac{\cos 23.5 - \text{sen } 30}{\cos 33}; \text{ obteniendo } z = 33^{\circ}$$

Como se puede apreciar, aun con el uso de calculadoras, el procedimiento gráfico que se muestra en la figura 16 es mucho más rápido y resulta suficientemente aproximado.

Por ello, el cálculo numérico se utilizará sólo en aquellos casos --generalmente infrecuentes-- en que por alguna razón particular se desea un mayor nivel de precisión en la determinación de la posición solar.

e) Proyección gnomónica

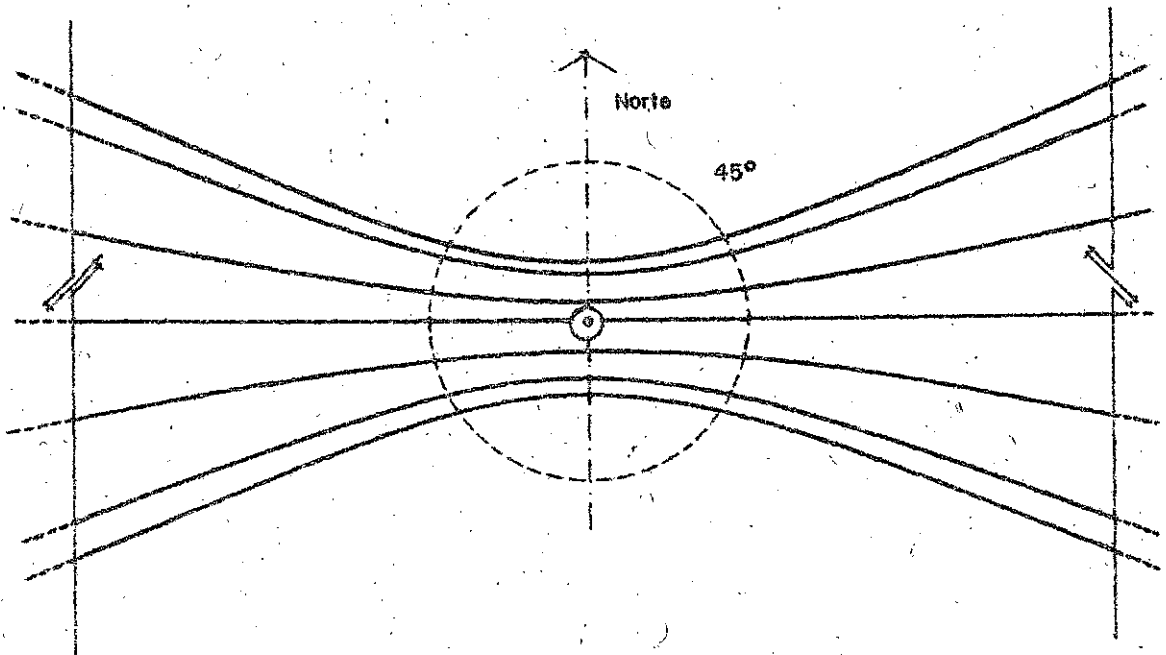
La determinación de las sombras arrojadas sobre un plano por un estilete o gnomon sirve para la construcción de "relojes de sol". No interesa aquí la utilidad ornamental de dichos artefactos, sino su uso en combinación con un modelo tridimensional del objeto arquitectónico proyectado para realizar en forma rápida y práctica el estudio de las sombras arrojadas reales.

En un plano perpendicular al meridiano del lugar y que contenga el eje N-S, se inserta, perpendicularmente a su superficie, un estilete (o gnomon). El lugar geométrico de la sombra que arrojará la punta de ese estilete queda representado en la figura 17. (Véase la figura 17.)

Este mecanismo funcionará como reloj de sol siempre que esté en la posición arriba indicada. Esta posición se consigue inclinando el plano del reloj de sol de tal forma que el ángulo respecto al plano de horizonte sea igual a la latitud del lugar, y orientando el artefacto de modo que la línea N-S del dibujo coincida con el eje N-S. La figura 18 es un gráfico que, fotocopiado, recortado y pegado sobre cartulina permite construir con gran facilidad un reloj de sol de las características descritas y de dimensiones manejables. Este reloj de sol, correctamente orientado e inclinado, se fija provisionalmente sobre la base en la que se construyó la maqueta

Figura 17

LUGAR GEOMETRICO DE LAS SOMBRAS DE LA PUNTA DEL GNOMON
(Reloj de sol horizontal, latitud 0° Ecuador)



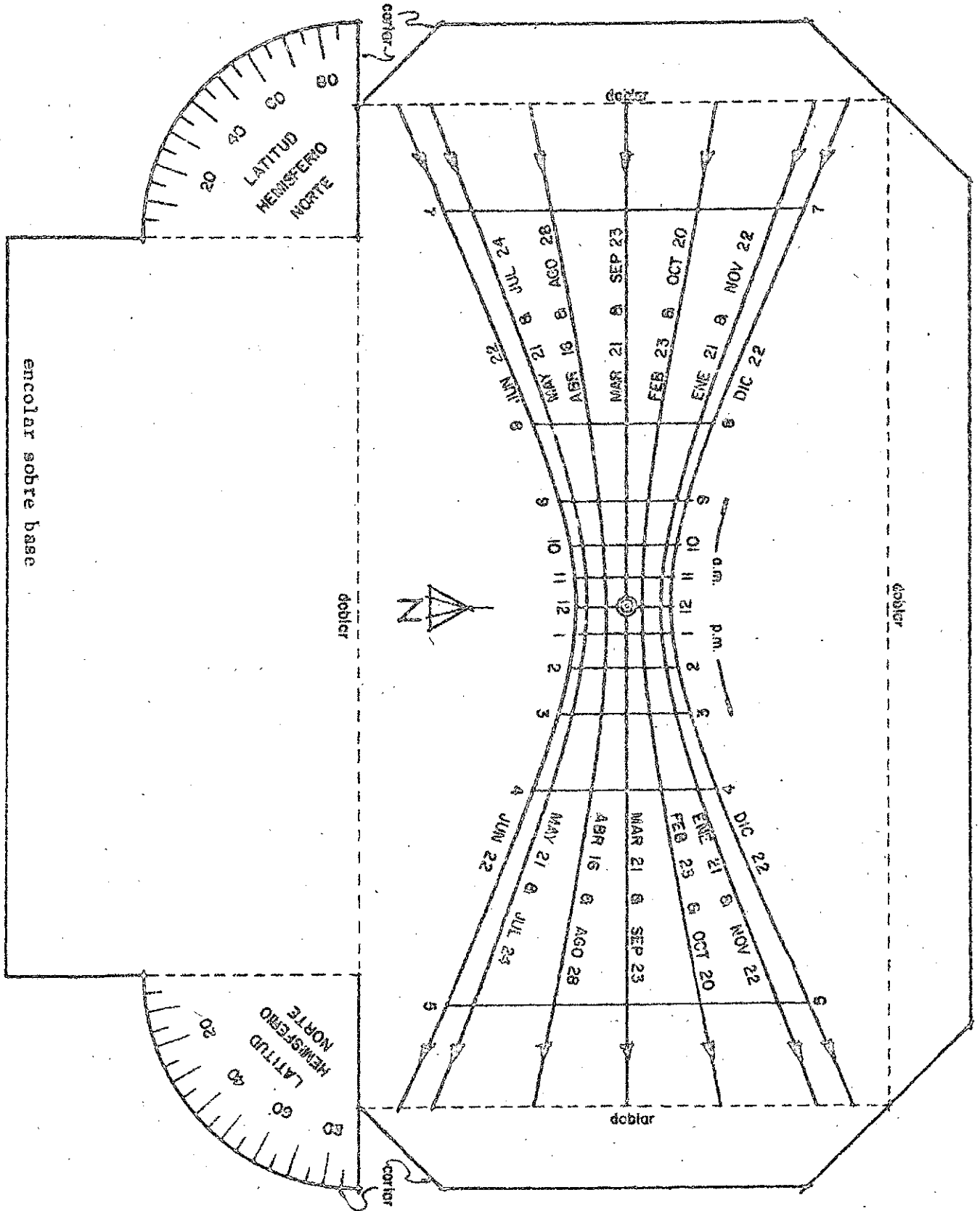
de anteproyecto. El conjunto (base + maqueta + reloj de sol) se coloca a la luz del sol o a la suficiente distancia de un foco incandescente único (mínimo 3 m., para evitar excesivos errores de conicidad del haz de rayos luminosos), y se mueve de tal forma que la sombra de la punta del estilete se proyecte en la ubicación correspondiente al día y a la hora deseados. En esa posición se analizarán sobre la maqueta las sombras reales tal y como aparecerán en ese día y a esa hora.

El reloj de sol que aquí se propone, ajustable para cualquier latitud, será siempre reutilizable si se realiza con materiales duraderos, y permitirá llevar a cabo rápidamente cualquier análisis de las sombras reales previsibles. (Véase la figura 18.)

/Figura 18

Figura 18

RELOJ DE SOL UNIVERSAL
(Gnomon: 20 mm)



f) El heliodón

El heliodón es un dispositivo que permite modelizar cómodamente el movimiento aparente del sol respecto a una maqueta arquitectónica. Puede llegar a ser muy complicado, reproduciendo incluso las condiciones térmicas ambientales. El que se describe, sin dejar de ser práctico, resulta de construcción fácil, incluso "casera".

La plataforma sobre la que se fija la maqueta puede girar respecto a un eje horizontal. Un cuadrante permite controlar la inclinación de la plataforma. Este mecanismo está montado sobre una base que a su vez puede pivotar en torno a un eje vertical. El mecanismo completo se sitúa frente a un foco cuya base puede deslizarse sobre unas guías verticales sujetas a una pared. La graduación del recorrido del foco permite seleccionar la declinación deseada; la inclinación de la plataforma se hará corresponder con la latitud del lugar. Bastará entonces situar la maqueta sobre la plataforma y hacerla pivotar en torno a su eje vertical para reproducir el movimiento aparente del sol alrededor de la maqueta, en el día correspondiente a la declinación que señala la posición del foco. (Véase la figura 19.)

Un círculo graduado permitirá controlar el movimiento horario, es decir, el giro de eje vertical de la plataforma.

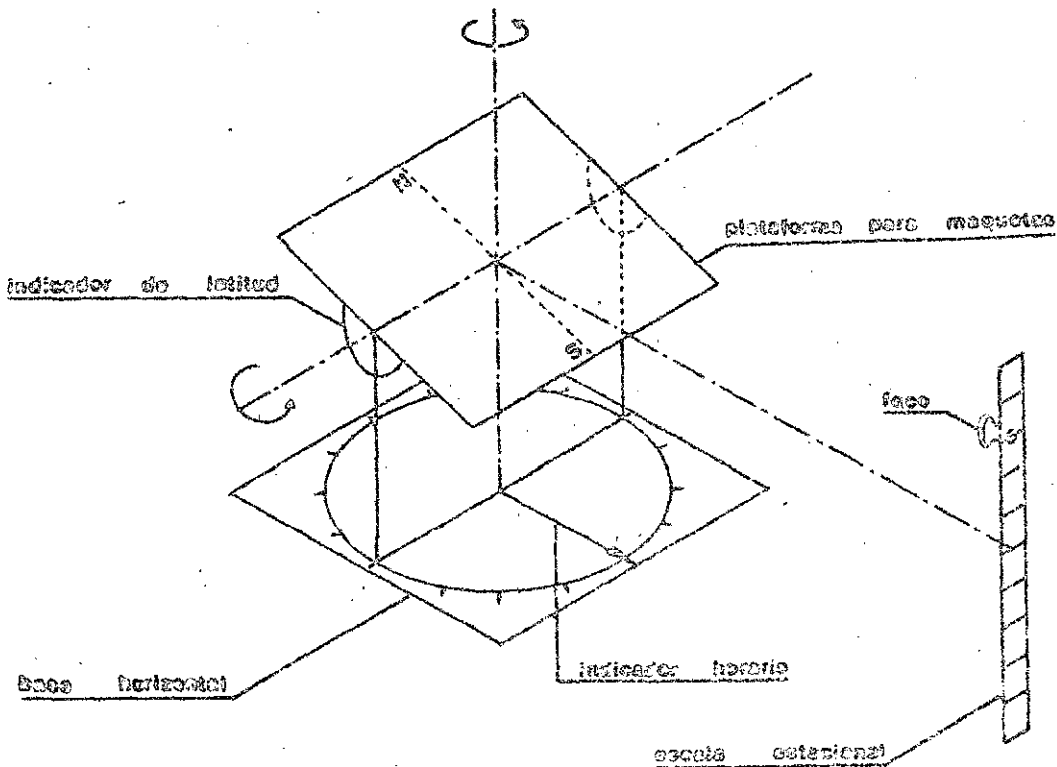
g) Obstrucciones solares

i) Hasta ahora se ha supuesto que no existe impedimento alguno para que los rayos del sol, desde el orto hasta el ocaso, incidan sobre el objeto arquitectónico que se esté considerando. En realidad, estos rayos encontrarán frecuentemente obstáculos que impedirán su incidencia directa sobre un punto determinado, aunque el sol se sitúe por encima del plano de horizonte teórico de ese punto.

Estos obstáculos, denominados obstrucciones solares, pueden ser de muy diversa índole: construcciones próximas, masas de vegetación, cadenas montañosas, etc. (La obstrucción solar debida a la nubosidad se estudia aparte.) El estudio de las condiciones de soleamiento, tomando en consideración las obstrucciones solares puede llevarse a cabo de distintas maneras. En primer lugar, se puede ampliar el modelo tridimensional para incluir en él

Figura 19

ESQUEMA DE HELIODON



El giro de eje vertical modeliza la variación horario, el de eje horizontal, la latitud. La posición del foco sobre la escala fija modeliza la declinación.

al entorno físico global en el que se emplaza el objeto arquitectónico que estamos diseñando. Esto es posible y práctico cuando las principales obstrucciones solares estén constituidas por objetos arquitectónicos próximos (Ej.: unidades habitacionales). El procedimiento resulta prácticamente inutilizable cuando las principales obstrucciones solares se sitúan lejos del objeto obstructor (macizos montañosos, por ejemplo).

En este caso, lo más práctico será modelizar las obstrucciones recurriendo a las llamadas cartas cilíndricas.

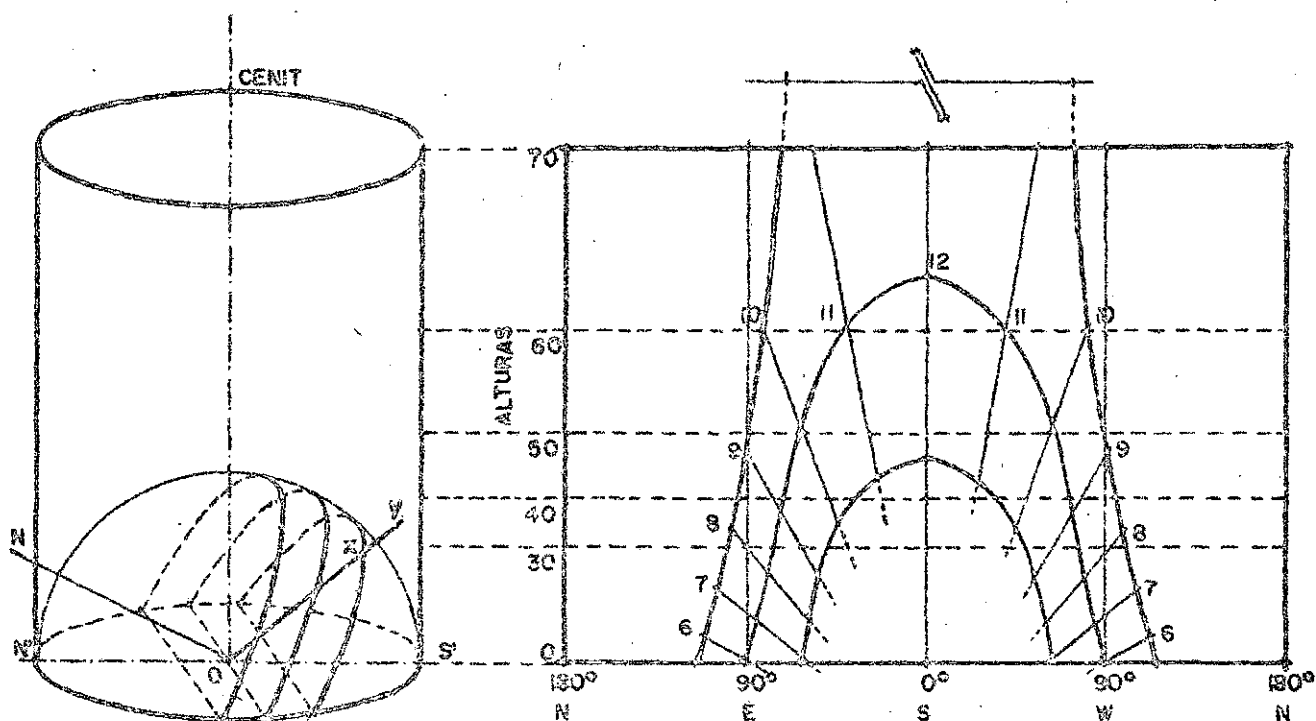
/ii) Imagine

ii) Imagine el lector un cilindro de eje vertical, cuya base circular esté centrada en el punto a estudiar. La semirrecta de unión del centro de la base con cualquier otro punto X del espacio determinará un punto Y de intersección con el cilindro. El punto Y representará al X en proyección cilíndrica. Se analizará cómodamente el conjunto de puntos "Y" si se procede a desenrollar la superficie lateral del cilindro hasta volverla plana. El lugar geométrico de la representación cilíndrica de los puntos de igual altura angular estará constituido por la intersección del cilindro con un haz de conos que comparten su eje con el cilindro. Esto es, por una familia de circunferencias de igual diámetro que, al desenrollar el cilindro, se transforma en una familia de segmentos horizontales. Se comienza por utilizar el mecanismo de la proyección cilíndrica para representar el movimiento aparente del sol. Para ello, se imaginará inscrita la semiésfera celeste visible, de tal forma que coincida su base con la del cilindro. Se prolongan los radios hasta que se produzca la intersección con el cilindro. En la carta cilíndrica, el eje de abscisas corresponderá a los azimuts, y el de ordenadas, a las alturas. Resultará muy fácil construir punto por punto la representación cilíndrica de la posición aparente del sol, obteniendo las coordenadas solares de la carta solar básica correspondiente. (Véase la figura 20.)

Sobre esta misma carta cilíndrica se dibujará la proyección de las obstrucciones. Es factible utilizar un teodolito para determinar las coordenadas (azimut y altura) de la silueta del horizonte real. Esta operación se efectúa midiendo la altura angular del extremo superior de las obstrucciones para una serie de azimuts espaciados regularmente. Si las obstrucciones son de tipo geográfico, más que arquitectónico, y contamos con un buen mapa topográfico de la zona de suficiente amplitud, se pueden determinar las coordenadas de la silueta del horizonte real por medio del simple análisis de las curvas de nivel, deduciendo para cada azimut la altura angular correspondiente. En este caso el trabajo se puede realizar cómodamente sobre la mesa de dibujo. (Véase la figura 21.)

La superposición de las proyecciones del movimiento aparente solar y de la silueta de obstrucciones permite conocer las condiciones reales de soleamiento.

Figura 20
CARTA SOLAR CILINDRICA

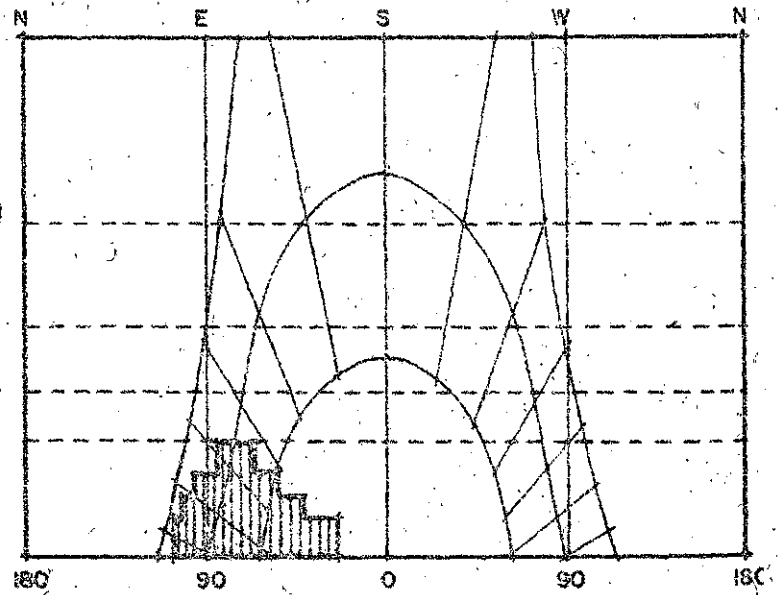
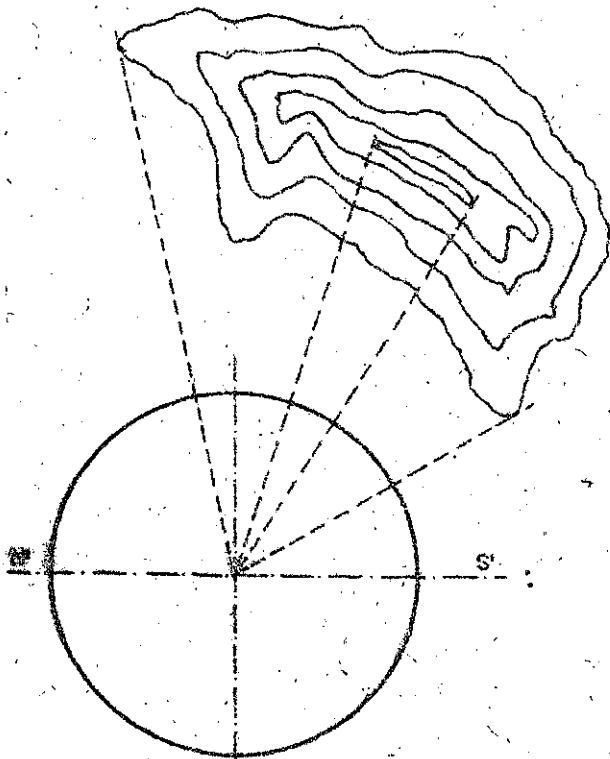
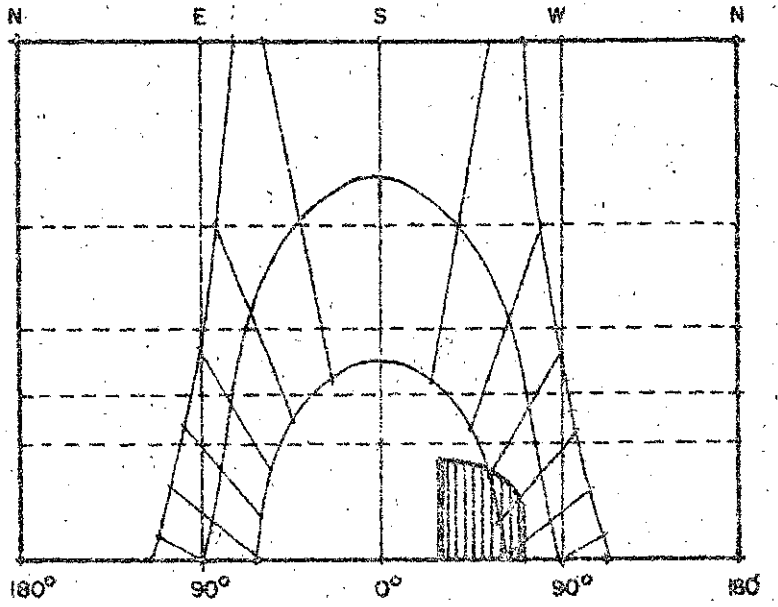
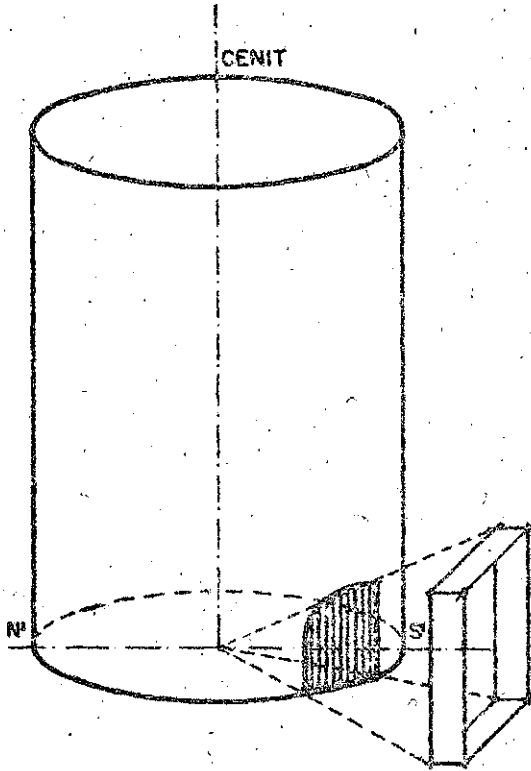


Obsérvese que las líneas horarias son segmentos rectos que concurren en un punto situado por debajo de la línea de horizonte, ubicable en la carta cilíndrica a una altura negativa igual a la latitud N. del lugar.

/Figura 21

Figura 21

ESTUDIO DE OBSTRUCCIONES SOLARES EN CARTAS CILINDRICAS



3. Soleamiento: la radiación solar.

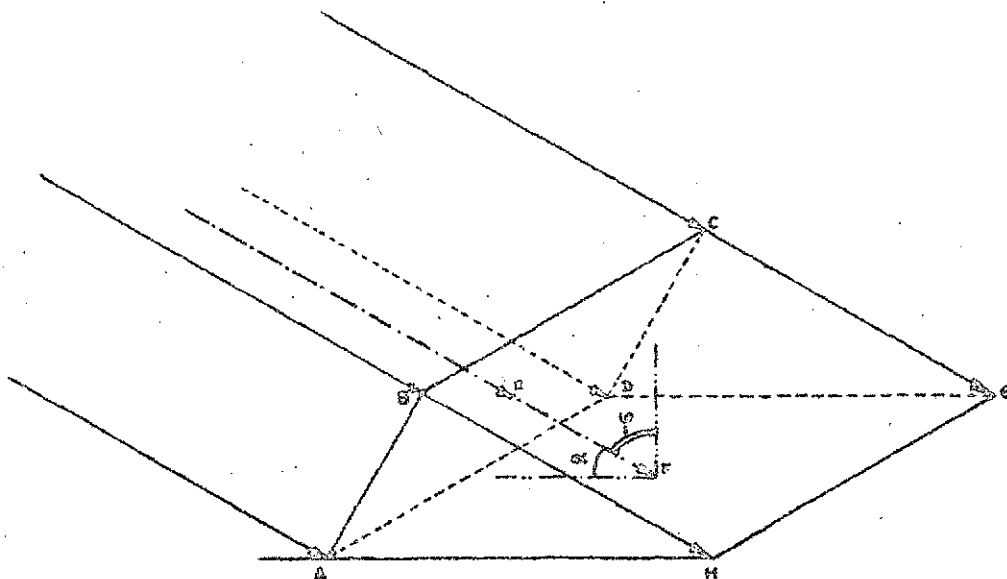
a) Radiación que recibe la atmósfera

i) Las capas exteriores de la atmósfera reciben del sol un flujo de energía radiante que puede considerarse constante, haciendo abstracción, a los efectos que aquí interesan, del reducido ámbito de fluctuación --inferior al 4%-- debido tanto a las pequeñas variaciones de la distancia tierra-sol, como a la eventual aparición de perturbaciones tales como las "manchas solares". Se llama constante solar (I_c) a la energía total media por unidad de superficie y de tiempo que recibiría, en ausencia de atmósfera, un plano perpendicular a los rayos solares que estuviera situado respecto al sol a la distancia media tierra-sol. La magnitud de la constante solar puede cifrarse en unos $1\ 353\ \text{kW/m}^2$ (o bien $1.94\ \text{cal/cm}^2/\text{min.}$). Esta magnitud permite cuantificar el aporte energético bruto medio que recibe nuestro planeta, previo al filtrado atmosférico.^{11/}

Si el referido plano no fuera perpendicular el haz de rayos solares, (véase la figura 22), la potencia energética recibida por unidad de

Figura 22

HAZ DE RAYOS QUE INCIDEN OBLICUAMENTE SOBRE UN PLANO



$$AB \times AD = AD \times AH \times \text{sen } \alpha = AD \times AH \times \text{cos } \psi$$

^{11/} Para tener una idea de la magnitud, piénsese que toda la energía que generó la humanidad en el año 1970, quemando principalmente combustibles fósiles no renovables, no representó ni el 0.004% de la energía solar recibida por el planeta en ese mismo año. En tres días, la tierra recibe del Sol una cantidad de energía mayor que la correspondiente a las reservas totales de carbón, petróleo y gas natural.

superficie se obtendría multiplicando la constante solar por $\text{sen } \alpha$, (siendo α el ángulo que forme el haz con el plano en cuestión) o, lo que es lo mismo, por $\text{cos } \varphi$ (siendo φ el ángulo de incidencia, es decir, el que forma el haz con la normal a la superficie plana).

i) Desde el punto de vista cualitativo, la radiación solar está constituida por ondas electromagnéticas cuyo espectro de longitudes de onda se extiende desde $0.2 \mu\text{m}$ hasta $5 \mu\text{m}$. El máximo de energía emitida por longitud de onda corresponde a la gama de la radiación visible; $0.4 \mu\text{m}$ - $0.74 \mu\text{m}$. El espectro solar se aproxima al de un cuerpo negro que estuviera a unos 5800°K (ésta sería la temperatura de la superficie solar, correspondiente, según la ley de Wien, a un máximo de radiación para la longitud de onda de $0.5 \mu\text{m}$).

Si se distinguiera entre la radiación ultravioleta ($\lambda < 0.4 \mu\text{m}$) la visible ($0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.74 \mu\text{m}$) y la infrarroja ($\lambda > 0.74 \mu\text{m}$), la radiación solar presentaría la siguiente composición aproximada: 9% de ultravioleta, 45% de visible y 46% de infrarroja.

Respecto a la distinción convencional entre radiaciones "cortas" ($\lambda < 4\mu\text{m}$) y "largas" ($\lambda > 4\mu\text{m}$), la radiación solar estaría compuesta casi exclusivamente por radiaciones cortas.

b) Comportamiento de la atmósfera frente a la radiación

i) La atmósfera ejerce las siguientes acciones sobre la radiación:

Reflexión: Consiste en la retransmisión en otra dirección de la radiación incidente, sin modificarla cualitativamente. La reflexión tiene lugar especialmente sobre la superficie de las capas nubosas.

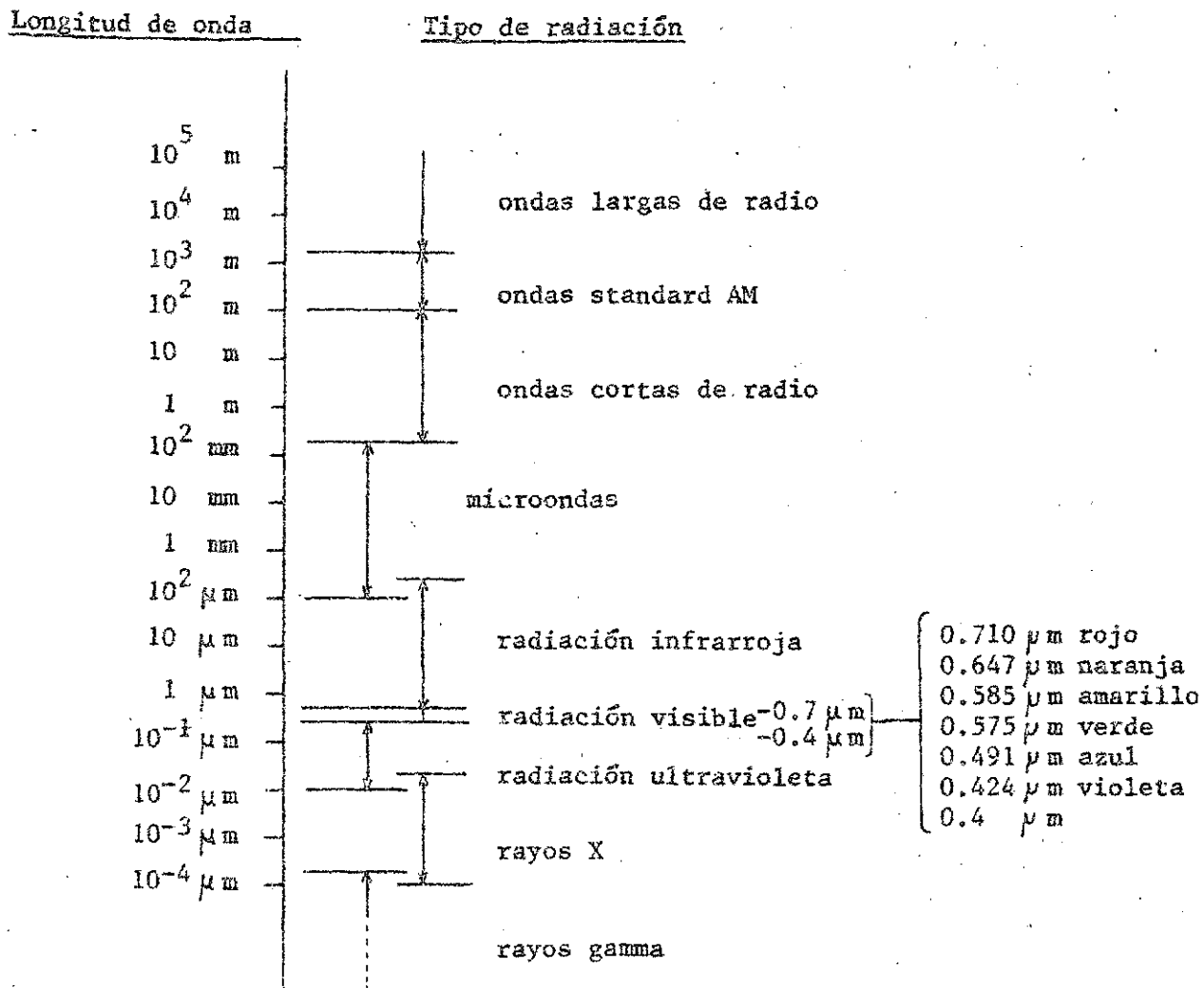
Difusión: Consiste en la retransmisión en todas direcciones de la radiación recibida por una partícula. El proceso de difusión, como el de reflexión, no altera la energía de la radiación ni hace variar la longitud de onda. Las partículas pequeñas que existen en la atmósfera operan una difusión selectiva, más intensa para las bajas longitudes de onda: a ello se debe el color azul del cielo despejado.

Absorción: Consiste en la asimilación por una sustancia de una parte de la energía radiante que recibe, utilizándola para incrementar

/Espectro

Cuadro 4

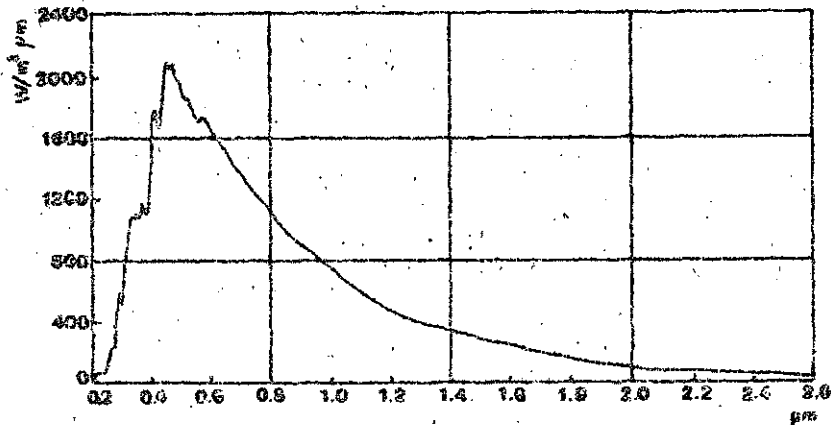
ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



/Figura 23

Figura 23

RADIACION ESPECTRAL ESTANDARD, NASA (1971), A LA DISTANCIA MEDIA TIERRA-SOL, PARA UN VALOR DE LA CONSTANTE SOLAR DE $1\ 353\ \text{W/m}^2$



Abcisas: Longitudes de onda, en μm .

Ordenadas: Radiación correspondiente a cada longitud de onda, en $\text{W/m}^2\ \mu\text{m}$.

su propia energía interna, elevando su temperatura. Este proceso es en general selectivo respecto a las longitudes de onda, en función de la composición química de la sustancia absorbente, y está íntimamente relacionado con el proceso de reemisión de energía radiante por parte de la sustancia de que se trate. Como norma, el comportamiento de los gases, en lo que se refiere a la absorción/emisión de energía radiante, se aleja mucho del de los "cuerpos negros".

ii) El nitrógeno y el oxígeno absorben las radiaciones ultravioletas de baja longitud de onda; este proceso tiene lugar en las capas más externas y enrarecidas de la atmósfera. El ozono, presente en algunas regiones estratosféricas en cantidad cuantitativamente insignificante, cumple sin embargo la importante función de absorber las radiaciones ultravioletas de gran longitud de onda (hasta $0.3\ \mu\text{m}$).

/La baja

La baja estratósfera y la tropósfera son casi transparentes a la radiación visible e infrarroja que sobre ellas incide, producto del filtrado operado por las capas exteriores. La tropósfera sólo mantiene algún poder absorbente gracias a la presencia, otra vez, casi insignificante desde el punto de vista cuantitativo, de partículas sólidas, vapor de agua y dióxido de carbono. Este poder absorbente, particularmente importante en el caso del vapor de agua, se ejerce sobre todo respecto a la radiación infrarroja (radiación "larga"), reemitida por la superficie terrestre. Por ello, la tropósfera se calienta "por debajo", por interacción con la superficie terrestre en un proceso complejo en el que intervienen todas las formas de intercambio térmico: radiación, cesión de calor latente, conducción y convección. Sin embargo, es de destacar que el poder absorbente de los elementos de la tropósfera es muy bajo en la banda 8-11 μm ; ésta es la llamada "ventana atmosférica" por la que escapa la mayor parte de la energía de onda larga generada en la superficie terrestre que atraviesa la atmósfera perdiéndose en el espacio exterior. La energía que absorbe la atmósfera (en radiaciones cortas o largas) es re-radiada (siempre en forma de radiación larga) tanto hacia la superficie terrestre como hacia el exterior.

c) Comportamiento de la superficie terrestre frente a la radiación

La radiación que incide sobre la corteza terrestre --en "el fondo" de la atmósfera-- es absorbida (y re-radiada) o reflejada en mayor o menor grado en función de su longitud de onda, su ángulo de incidencia y de la naturaleza de la superficie terrestre sobre la que incide.

i) Se denomina albedo a la relación entre la energía radiante que refleja una superficie y la energía total incidente, expresada en porcentaje. El albedo de cada elemento de la superficie terrestre se puede determinar fácilmente y con suficiente aproximación mediante la fotointerpretación, utilizando fotos aéreas tomadas con placas normales, sensibles a la luz visible. Se adjunta la siguiente tabla comparativa de albedos aproximados.^{12/}

^{12/} Cuadro elaborado a partir de la información contenida en Critchfield (1974), Olgyay (1963), Lockwood (1974), Heiburger et al (1973), entre otras fuentes. Los albedos tabulados se refieren a la radiación solar (corta). En lo que se refiere a la radiación terrestre, de onda larga, las superficies terrestres, incluyendo aquellas constituidas por nieve o hielo, se suelen comportar casi como cuerpos negros (coeficientes de absorción entre 90% y 95%).

<u>Superficie</u>	<u>Albedo</u> <u>(%)</u>
Nieve fresca	80-90
Nube espesa	70-80
Nube delgada	25-70
Agua (dependiendo del ángulo de incidencia)	2-80
Arena mojada	10-20
Arena seca	18-35
Desierto	25-30
Tierra seca	10-25
Tierra mojada	0-10
Tierra cultivada oscura	7-10
Tierra removida húmeda	15
Roca desnuda	10-20
Zona pantanosa	10-15
Monte bajo desértico	20-30
Sábana	15
Hierba verde	10-25
Hierba seca	25-30
Bosque de coníferas	5-15
Bosque tropical	20
Bosque sin hojas	17
Asfalto	15
Ladrillo, tabique	25-50
Promedio zonas urbanas en Norteamérica	15
Áreas urbanas de edificación muy densa	15-25

La modificación voluntaria del albedo de grandes sectores terrestres constituye uno de los recursos más promisorios de intervención humana en las condiciones macroclimáticas.^{13/}

Aun a escala microclimática, el albedo superficial constituye un factor cuya relevancia no debe subestimarse.

ii) Es importante, por último, hacer resaltar la diferencia entre los efectos de la radiación según que ésta incida en agua (mares o lagos) o en tierra firme. Si es fuertemente direccional e incide en agua, la absorción/reflexión dependerá del ángulo de incidencia: entre 35° y 90° (por ejemplo, sol muy bajo) puede suponerse que toda la radiación se reflejará en el plano acuoso, sin que se produzca absorción. Cuando ésta tiene lugar, el efecto térmico se manifiesta incluso a bastante profundidad.^{14/}

^{13/} Existen ya proyectos de creación de "fuentes térmicas" basados en el ennegrecimiento de zonas montañosas y desérticas, que se sitúan a un paso de la "geofísica-ficción".

^{14/} La totalidad de los infrarrojos se absorbe en el primer metro de profundidad, pero la natural turbulencia de los océanos suele homogeneizar la situación hasta unos 20 metros de profundidad. A 100 metros llega todavía, sólo bajo forma de luz visible, el 3% de la energía recibida en la superficie.

Al repartirse en una gran masa acuosa, el incremento en la cantidad de calor no se manifiesta cualitativamente en un gran aumento de la temperatura superficial. Las corrientes advectivas o en profundidad contribuyen a uniformar la situación térmica.

Estos hechos, aunados al del alto calor específico del agua (cinco veces mayor que el de la tierra seca), determinan la enorme inercia que a efectos climáticos presentan los océanos y los grandes lagos interiores. Estas grandes masas acuosas funcionan como "volantes de inercia" que regulan los cambios en el sistema térmico planetario.

La tierra firme, en cambio, al recibir la radiación solar directa o indirecta --re-radiada por la atmósfera-- se ve afectada solamente en su capa más externa, la cual puede experimentar un fuerte incremento de temperatura y un consiguiente aumento de su capacidad emisora de radiación. Al disminuir la radiación recibida (de noche, por ejemplo), esa capa externa continúa re-radiando y pierde así su potencial térmico, enfriándose rápidamente. El ciclo térmico terrestre, comparado con el marino, es muy rápido y superficial. Se considera que, en terreno seco, y en un lugar de estaciones bien marcadas, la temperatura a una profundidad promedio de sólo 3 metros corresponde a la temperatura media anual de ese lugar; es decir, que a esa profundidad deja de tener efecto la oscilación anual de temperaturas. La variación diurna desaparece por completo a una profundidad aún menor: entre 0.5 y 1 metros, incluso en terreno húmedo.

d) Balance planetario de energía radiante

i) Sobre el planeta, considerado como un sistema global e incluyendo, pues, su atmósfera, incide una energía radiante solar promedio que está determinada por la "constante solar". Pero una parte de esa energía es reflejada, sin sufrir absorción alguna ni por la atmósfera ni por la superficie terrestre, y vuelve al espacio exterior. Nuestro planeta refleja de esta forma el 35% de la energía solar incidente: esta cifra constituye pues el albedo planetario global. El sistema terrestre absorbe el 65% restante, utilizándolo para su calentamiento, y, a su vez, emite radiación hacia el espacio exterior en una banda de longitudes de onda que se extiende aproximadamente desde los $4\mu\text{m}$ a los $20\mu\text{m}$, con un máximo de emisión en la longitud de onda de $10\mu\text{m}$. Este máximo correspondería a

/un cuerpo

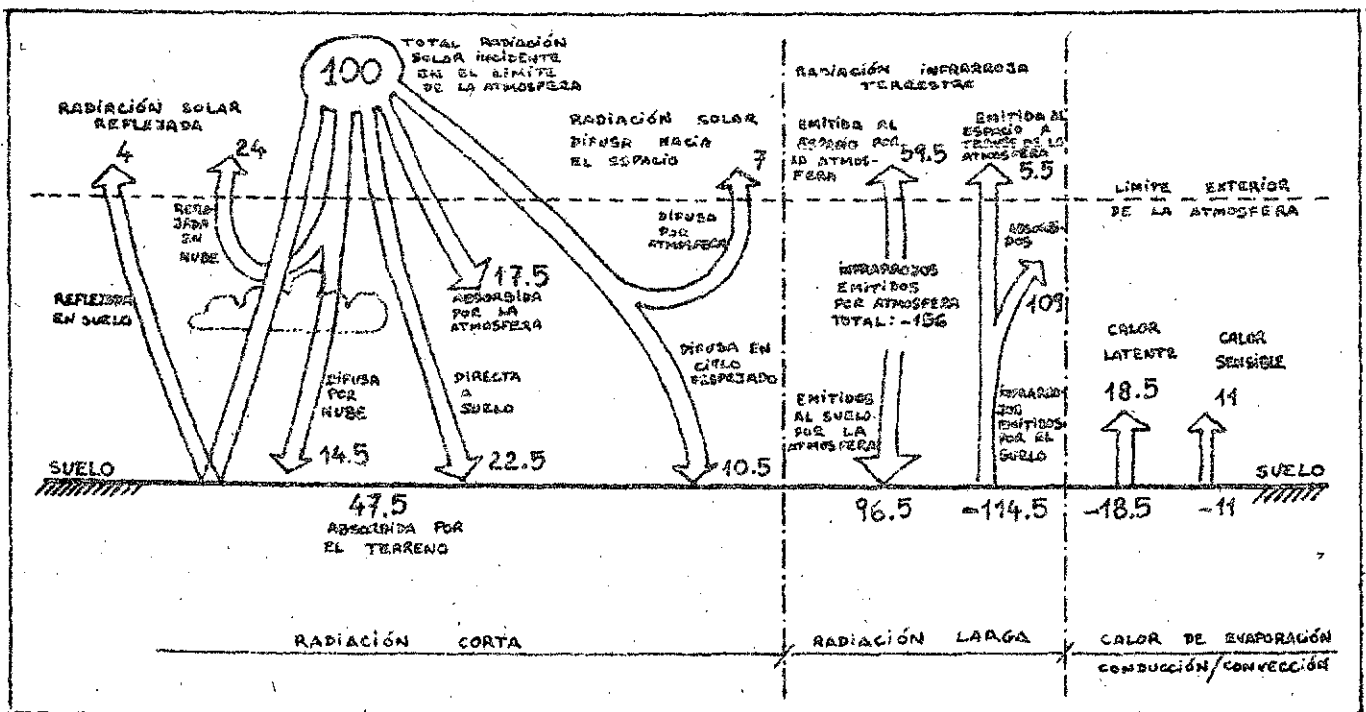
un cuerpo negro que estuviese a unos 290°K.^{15/} La emisión terrestre está pues constituida exclusivamente por radiación "larga", infrarroja.

El sistema terrestre, globalmente considerado, no sufre calentamiento ni enfriamiento, se encuentra en equilibrio térmico. La energía solar incidente en el sistema es pues cuantitativamente igual a la energía que, a su vez, emite el planeta hacia el exterior (como energía reflejada + energía re-radiada).

ii) El balance global medio, distinguiendo entre la atmósfera y la superficie sólido-líquida del planeta, puede estudiarse en la figura 24 en el que se consideran por separado las radiaciones "cortas" (solares o solares reflejadas) y las "largas" (terrestres).

Figura 24

BALANCE ENERGETICO ENTRE EL ESPACIO EXTERIOR, LA ATMOSFERA Y LA SUPERFICIE TERRESTRE, ADAPTADO DE NEIBURGER et al (1971)



^{15/} Por la alta selectividad con que opera el filtro atmosférico, la radiación terrestre hacia el exterior presenta un espectro de haces de longitudes de onda que se aparta del espectro continuo que produciría un cuerpo negro.

El balance del intercambio entre el espacio exterior y las capas más altas y enrarecidas de la atmósfera puede detallarse como sigue:

- Energía que la atmósfera recibe del espacio exterior:
100 unidades de energía, en radiación "corta"
- Energía que la atmósfera emite hacia el espacio exterior:

Unidades

4.0	(radiación solar reflejada en el suelo y que atraviesa la atmósfera)	}	Subtotal 35 unidades en radiación "corta"
24.0	(radiación solar reflejada en las nubes)		
7.0	(radiación difusa en la atmósfera que regresa al espacio exterior)		
59.5	(emisión terrestre atmosférica dirigida hacia el espacio exterior)	}	Subtotal 65 unidades en radiación "larga"
5.5	(emisión terrestre de la superficie que atraviesa la atmósfera)		

Total 100.0

El balance detallado del intercambio entre la atmósfera y la superficie terrestre se refleja en el cuadro siguiente:

- Energía que la superficie recibe de la atmósfera o a través de la misma:

Unidades

14.5	(radiación solar difusa en nubes)	}	Subtotal 47.5 unidades en radiación "corta"
22.5	(radiación solar directa)		
10.5	(radiación solar difusa en atmósfera sin nubes)		
96.5	(emisión atmosférica hacia la superficie terrestre)	}	Subtotal 96.5 unidades en radiación "larga"

Total 144.0

- Energía que la superficie terrestre transmite a la atmósfera:

Unidades

114.5	(emisión de la superficie terrestre)	}	144 unidades de energía radiante larga y en energía térmica
18.5	(calor latente transmitido por evaporación)		
11.0	(calor sensible transmitido por conducción)		

Total 144.0

/Como se

Como se puede apreciar, por los sucesivos "rebotes" energéticos el intercambio entre la atmósfera y la superficie es más intenso que el que se detecta entre la atmósfera y el espacio exterior. En esto consiste el impropriamente llamado "efecto de invernadero" que produce la atmósfera.^{16/} La acción atmosférica como "cobertor terrestre" se acentúa considerablemente por medio de la nubosidad.

e) Insolación

Se denominará insolación a la potencia radiante que recibe una superficie unitaria plana, tanto por efecto de la acción directa de los rayos solares como por la componente difusa a través de la atmósfera.

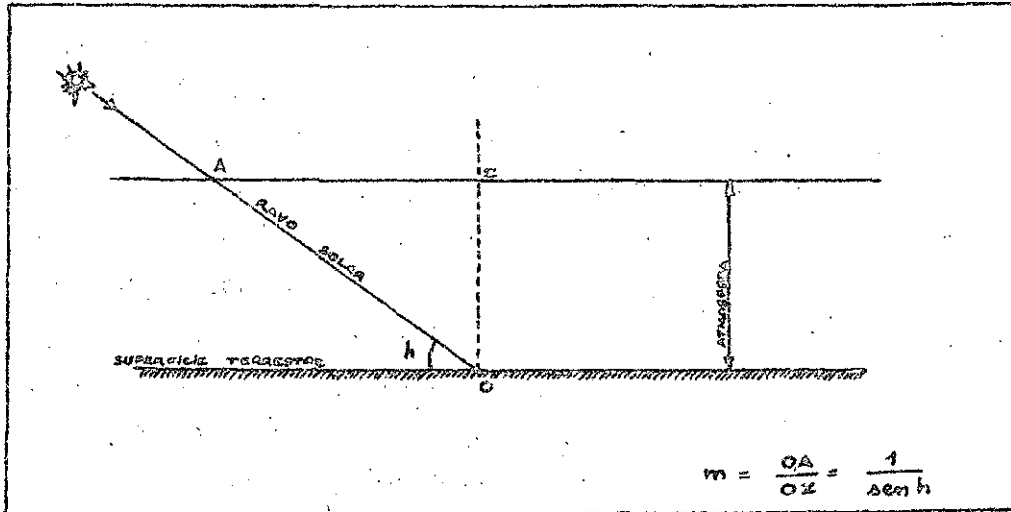
En cualquier punto de la superficie terrestre, la insolación que recibirá una superficie unitaria plana dependerá de los factores siguientes:

i) Masa atmosférica. Es la cantidad de materia que hayan tenido que atravesar los rayos solares antes de incidir en la superficie de la corteza terrestre. La intensidad de la radiación solar disminuye por efecto del filtrado atmosférico y esta disminución será tanto más acusada cuanto mayor sea la masa de aire atravesada. Se denomina "factor masa de aire" (m) a la relación entre la longitud de la trayectoria atmosférica efectiva de los rayos solares y el espesor atmosférico que tendrían que atravesar esos rayos si incidieran perpendicularmente a la superficie terrestre. Dado que el espesor de la atmósfera es pequeño comparado con el radio terrestre, se puede prescindir de la consideración de la curvatura de la superficie terrestre, a efectos de la determinación de m .

^{16/} Según Fleagle/Businger (1963), la ausencia de atmósfera provocaría un descenso de la temperatura media de la superficie terrestre del orden de unos 30 o 40°C; la oscilación diurna de temperaturas se incrementaría además considerablemente.

Figura 25

FACTOR MASA DE AIRE



Como se puede apreciar en la figura anterior, el factor "m", masa de aire, es una función trigonométrica muy sencilla de la altura solar. ^{17/}

ii) Composición de la atmósfera. La capacidad filtrante y absorbente de la atmósfera depende, como ya se expuso, de algunos componentes tales como vapor de agua, polvo, sustancias contaminantes, cuya concentración varía de un punto a otro; a mayor concentración se detectará menor insolación. En las zonas rurales secas y sin polvo se presentará la mayor insolación.

iii) Nubosidad. La presencia de nubes espesas puede anular la componente directa (la más intensa) de la radiación solar incidente, disminuyendo considerablemente la insolación. En un momento dado, aproximadamente la mitad de la superficie terrestre está cubierta de nubes.

iv) Angulo de incidencia (ψ) de los rayos respecto a la superficie. En lo que respecta a la componente directa, la insolación estará en función directa del coseno del ángulo de incidencia.

Los factores i) y iv) pueden cuantificarse con precisión, pero los ii) y iii) resultan bastante impredecibles a corto plazo; en cada lugar

^{17/} Se está suponiendo un punto sobre la superficie terrestre ubicado a la altura media del nivel del mar. En las zonas montañosas o en las altiplanicies la radiación solar recibida será mayor al ser menor la capa atmosférica a atravesar.

concreto sólo se contará, en el mejor de los casos, con promedios estadísticos que ocultan amplios márgenes de variación.

La cuantificación de la insolación se lleva a cabo en general suponiendo un factor ii) constante (aire limpio conteniendo una cantidad fija de vapor de agua) y no tomando en consideración el factor iii) (suponiendo un cielo despejado). En estas condiciones se suelen desarrollar cálculos con unas pretensiones absurdas de precisión. La cuantificación de la insolación sólo puede pretender establecer razonablemente unos órdenes de magnitud, y unos márgenes aproximados de variación. Los promedios que se manejan son resultado más bien de la observación directa que de la predicción matemática. Con esta salvedad, valdría la pena abordar el problema general del cálculo de la insolación que recibe un plano inclinado cualquiera, que forme un ángulo α con el plano horizontal del terreno y que esté orientado según un azimut p .

Se denomina azimut solar del plano (s) a la suma algebraica del azimut solar con el azimut del plano $s = z + p$.

El ángulo de incidencia φ de los rayos solares directos respecto a la superficie considerada se determina matemáticamente mediante la fórmula: $\cos \varphi = \cos h \cdot \cos s \cdot \sin \alpha + \sin h \cdot \cos \alpha$.

Conociendo la insolación directa normal (IDN), es decir, la que se detectaría sobre un plano perpendicular a los rayos solares, bastará multiplicar la por $\cos \varphi$ --obtenido aplicando la fórmula que se acaba de indicar-- para determinar la insolación directa que recibe un plano cualquiera en un momento dado. $ID(\alpha, s) = IDN \cdot \cos \varphi$.

El problema se simplifica mucho en los casos particulares siguientes:

- a) Superficie vertical: $\alpha = 90^\circ$
 $\cos \varphi = \cos h \cdot \cos s$.
- b) Superficie horizontal: $\alpha = 0^\circ$
 $\cos \varphi = \sin h$ (φ y h son complementarios).

La insolación difusa (I_d) es menos predecible que la directa. La radiación difusa no es netamente direccional, como lo es la directa, pero tampoco es absolutamente homogénea. Para superficies

/horizontales

horizontales en bajas latitudes y en días despejados, la I_d representa menos de 1/5 de I_{DN} .

La insolación total será la suma de la insolación directa más la difusa.

Por ser tan engorrosos los procedimientos numéricos "exactos", se han hecho esfuerzos para presentar en forma más sintética la información relevante relativa a la radiación solar, siempre partiendo de los supuestos simplificadorios expuestos en el párrafo anterior.

Por una parte, se han propuesto gráficos que permiten una lectura inmediata de las magnitudes de la insolación directa y difusa. Entre aquellos elaborados precisamente con vistas a su utilización en el diseño arquitectónico y urbano se podrían citar los contenidos en Olgay & Olgay (1957), que presentan el inconveniente de no estar calibrados según el Sistema Internacional (métrico) y de requerir para su uso de un surtido costoso de gráficos impresos sobre película transparente y diagramas solares específicos para cada latitud.

El otro intento se ha basado en la elaboración de tablas de valores medios que permitan evaluar la insolación directa y difusa en función de la altura solar para casos simples: superficies horizontales, verticales de diversa orientación, o normales siempre a los rayos incidentes. Se adjunta una de estas tablas cuya consulta puede facilitar en gran medida el estudio de la insolación probable.

Cuadro 5

TABLA DE VALORES

Altura Solar (h)

Insolación W/m ²		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90		
Insolación directa normal (IDN)		210 (100)	390 (180)	520 (250)	620 (320)	690 (380)	740 (430)	780 (470)	810 (500)	840 (520)	860 (540)	890 (570)	910 (590)	920 (610)	930 (630)		
Insolación directa sobre superficie horizontal (IDH)		20	70	140	210	290	370	450	520	590	660	770	860	910	950		
Insolación directa sobre superficie vertical IDV. Cifras válidas para el trópico húmedo. En zo- nas templadas disminuir un 5%, en trópico árido aumentar un 20%	azimut solar	0	210	380	510	580	640	640	620	590	550	450	310	160	-	-	
		10	210	380	500	575	615	630	630	615	585	545	440	310	160	-	-
		20	200	360	475	550	590	600	600	590	560	520	420	290	150	-	-
		30	180	330	440	510	540	560	555	540	510	480	390	270	140	-	-
		40	160	290	390	450	480	490	490	480	455	420	340	240	120	-	-
		45	150	270	360	410	440	450	450	440	420	390	320	220	110	-	-
		50	135	250	325	375	400	410	410	400	380	355	290	200	100	-	-
		55	120	220	290	335	360	370	370	360	340	320	260	180	90	-	-
		60	105	190	250	290	310	320	320	310	300	280	220	160	80	-	-
		65	90	160	210	250	260	270	270	260	250	230	190	130	70	-	-
		70	70	130	170	200	210	220	220	210	200	190	150	110	55	-	-
75	50	100	130	150	160	170	170	160	150	140	120	80	40	-	-		
80	40	70	90	100	110	110	110	110	100	100	80	50	30	-	-		
Insolación difusa sobre superficie horizontal (IdH)		25 (30)	40 (60)	60 (80)	70 (100)	80 (120)	85 (140)	90 (150)	95 (160)	100 (160)	105 (170)	110 (180)	110 (200)	110 (220)	110 (220)		
Insolación difusa sobre superficie vertical	orientación	N	20 (10)	30 (25)	40 (30)	50 (40)	50 (50)	50 (60)	60 (60)	60 (60)	60 (70)	60 (70)	70 (70)	70 (70)	70 (70)	70 (70)	
			E(a.m) W(p.m)	30 (30)	60 (70)	85 (90)	100 (110)	110 (135)	110 (150)	110 (160)	110 (160)	110 (155)	100 (150)	90 (130)	70 (110)	70 (110)	70 (110)
		S	10 (15)	25 (30)	35 (40)	40 (50)	50 (70)	50 (75)	60 (85)	70 (95)	70 (100)	70 (110)	80 (120)	85 (130)	90 (130)	90 (130)	90 (130)
			W(a.m) E(p.m)	10 (10)	20 (20)	30 (30)	40 (40)	40 (50)	50 (60)	50 (70)	50 (70)	60 (80)	60 (85)	70 (95)	70 (110)	70 (110)	70 (110)
		Radiación del terreno recibida por superficie vertical. (Cifras válidas para trópico húme- do y zonas templadas. En trópico árido multiplicar por 2.5.		-	5	10	15	20	20	30	30	30	40	40	50	50	50

* Tabla elaborada sobre la base de IHVE Guide (1976) y Olgyay (1957) Merrill/Gage (1974). Cifras redondeadas. Los números entre paréntesis corresponden al caso de una atmósfera bastante contaminada.

En el caso de un plano inclinado se puede determinar la insolación en función de su pendiente, de la insolación horizontal y de la vertical (correspondiente a un plano vertical del mismo azimut que el plano inclinado), mediante la utilización del siguiente cuadro:

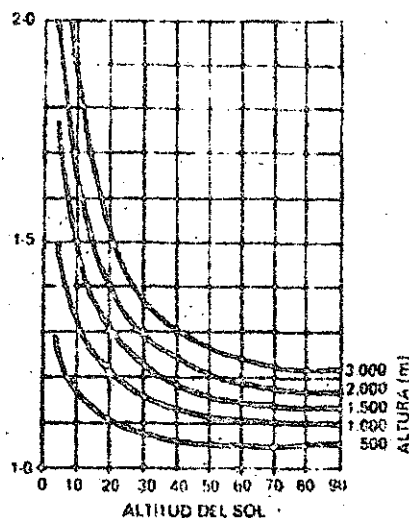
Pendiente de la cubierta	El sol del lado de la pendiente de la cubierta			El sol del lado opuesto a la pendiente de la cubierta		
	% de Ih	más	% de Iv ^{a/}	% de Ih	menos	% de Iv ^{a/}
5	99,6	más	8,7	99,6	menos	8,7
10	98,5	más	17,4	98,5	menos	17,4
15	96,6	más	25,9	96,6	menos	25,9
20	94,0	más	34,2	94,0	menos	34,2
25	90,6	más	42,3	90,6	menos	42,3
30	86,6	más	50,0	86,6	menos	50,0
40	76,6	más	64,3	76,6	menos	64,3
50	64,3	más	76,6	64,3	menos	76,6
60	50,0	más	86,6	50,0	menos	86,6
70	34,2	más	94,0	34,2	menos	94,0

a/ Para un plano vertical que forme un diedro horizontal con el de la cubierta.

Los datos tabulados son válidos a nivel del mar. La altitud incrementa la insolación de acuerdo con la siguiente figura

Figura 26

COEFICIENTE EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DEL SOL Y DE LA ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR



/Deberá

Deberá tenerse en cuenta, por otra parte, que la pérdida nocturna de radiación se incrementa también con la altura.

Las estimaciones anteriores se refieren siempre a días despejados; la nubosidad puede transformar radicalmente la situación. Con un cielo totalmente cubierto la IDN se anula, y la Id representa el 100% de la insolación total. El valor medio aproximado de esta última magnitud puede estimarse si se dispone de datos estadísticos confiables respecto a la nubosidad. Podrán utilizarse entonces fórmulas empíricas como la siguiente:

$$\frac{IT_{med}}{IT_{máx}} = (0.15 + 0.006 N)$$
 siendo IT med la insolación total media, IT máx la insolación total máxima y N el promedio observado de horas en que brilla el sol, expresado en porcentaje respecto al número total de horas de asoleamiento teórico.^{18/}

La consideración de la nubosidad no resulta imprescindible para el diseñador: si opta por considerar siempre el cielo despejado se enfrentará con la situación más desfavorable. En efecto, la nubosidad constituye en general un factor beneficioso para el confort térmico: reduce el sobrecalentamiento diurno debido a la radiación directa y atenúa el enfriamiento nocturno limitando la emisión radiante terrestre. Como norma, a efectos de diseño, sólo se tomará en cuenta la nubosidad cuando se presente con acusada regularidad estacional.

f) Insolación y climas

La distribución planetaria global de la insolación es en todo momento desigual, como podrá apreciarse en la figura 27. Es precisamente esta desigualdad la que constituye el motor, la causa física, de todos los efectos climáticos que, considerados a gran escala, no son sino producto de la advección (movimiento horizontal) de energía en la superficie terrestre.

Las zonas intertropicales ceden continuamente energía, transfiriéndola hacia las zonas extratropicales.^{19/} Los mecanismos por los que esta transferencia se efectúa son complejos; básicamente consisten en una circulación

^{18/} Véase "Effect of cloud cover on radiation", The Architect's Journal, enero 8, 1969.

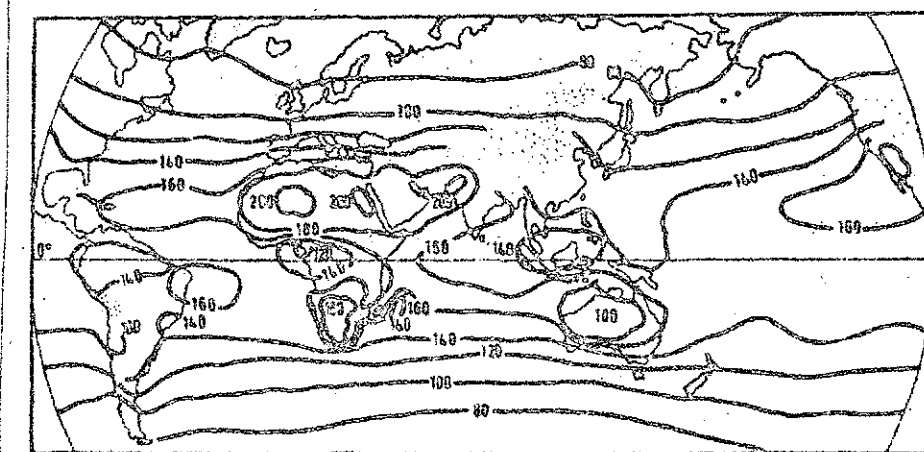
^{19/} Si no se produjera esta redistribución, la temperatura media del ecuador se incrementaría en unos 14°C y la de los polos descendería unos 25°C (Barry/Chorley (1972)).

de fluidos (corrientes oceánicas y flujos de viento) estructurada en forma globalmente estable, aunque con perturbaciones locales y notorias variaciones estacionales.

La máxima insolación terrestre se detecta en las zonas áridas correspondientes a las altas presiones permanentes subtropicales.

Figura 27

RADIACION ANUAL MEDIA, EN KCAL/CM² (Según Budyko, 1956)



V. ELEMENTOS DEL CLIMA^{1/}

1. Masas de aire; masas de agua

Los dos principales fluidos que se reparten el trabajo de la redistribución energética son el aire atmosférico y el agua de los océanos. Dicho reparto es por cierto bastante desigual: a la atmósfera le toca el 80% del trabajo de transporte térmico. Ambos fluidos presentan características muy especiales: el aire es bastante aislante desde el punto de vista térmico^{2/} y el agua posee una gran capacidad calorífica. Por estas razones, las masas de aire y de agua presentan una notoria inercia térmica mucho mayor en el caso del agua que en el del aire. Estas masas, cuando permanecen en contacto con un contexto geográfico estable adquieren una identidad que tarda en desaparecer cuando varía ese contexto por transformación del mismo o por desplazamiento de las masas. La temperatura superficial constituye la característica fundamental de las aguas oceánicas, de la cual depende la tasa de evaporación. Las masas de aire se caracterizan por su temperatura promedio y su contenido de humedad. Se distinguen así el aire ártico (A), el polar marítimo (mP), el polar continental (cP), el tropical marítimo (mT), el tropical continental (cT), y el ecuatorial (E, de carácter siempre marítimo).

Las masas de aire se van desplazando y transformando lentamente. El encuentro de dos masas de aire de diferentes características se denomina, bélicamente, "frente". La teoría de los "frentes", desarrollada por el noruego J. Bjerknes en los años de la Primera Guerra Mundial y posteriores, revolucionó la meteorología de las zonas templadas, cuyo clima, muy variable, se ve regido fundamentalmente por la interacción entre las masas tropicales y las polares. El frente está determinado por una superficie

^{1/} El presente capítulo tiene un carácter de recordatorio elemental y no pretende sustituir a los tratados sistemáticos de climatología a los que remite para un tratamiento completo y detallado de los temas que aquí se abordan en forma necesariamente superficial, en función exclusivamente de un interés centrado en el diseño.

^{2/} El calor específico del aire es reducido: 1 kJ/kg °C, aproximadamente y en condiciones normales. Resulta pues del orden de una milésima del de la tierra. Pero su conductividad es, igualmente, muy baja: 0.025 W/°Cm. Ello explica la escasa importancia que, en el caso del aire, cobra la transmisión térmica por conducción.

divisoria --muy inclinada y bien marcada-- entre ambas masas. Se denomina "estacionario" cuando las masas se mueven paralelamente al mismo, "frío" cuando el aire más frío avanza y "cálido" cuando es el aire más caliente el que avanza. El concepto de "frente" se vuelve mucho menos operativo en las zonas cálidas, donde no existen separaciones tan tajantes entre las masas de aire. La meteorología tropical se ha desarrollado en forma mucho más tardía que la de las zonas templadas. Todavía hoy se padece en las regiones tropicales una gran penuria comparativa de datos climatológicos.

2. Humedad y temperatura como factores de estabilidad e inestabilidad del aire

Las masas de aire incorporan humedad por evapotranspiración sobre tierra firme y por simple evaporación sobre océanos y lagos. Estos procesos consumen siempre calor, que se transforma en "calor latente". La humedad del aire no es en general de origen local; la advección de la humedad constituye un mecanismo climatológico fundamental.

Se dice que una porción de aire es estable cuando tiende a mantener su ubicación original; dicha porción será inestable cuando manifieste la tendencia a separarse cada vez más de su nivel de partida. La estabilidad o inestabilidad de una porción de aire dependerá de la pendiente de la curva de estado (temperatura en función de la altura o de la presión) de la masa a la que pertenece. Si el gradiente térmico de la curva de estado es inferior al gradiente adiabático se producirá una situación de equilibrio estable: cualquier porción de aire que se eleve adiabáticamente (enfriada por reducción de presión) se encontrará inmersa en un medio más caliente, menos denso, por lo que tenderá a bajar hasta regresar a su nivel original.^{3/} El aire será estable. Si, en cambio, el gradiente térmico fuera superadiabático, la misma porción de aire elevada en forma adiabática se encontraría con un aire más frío que ella misma, por lo que tendería a subir aún más; el aire será, en este caso, inestable.

^{3/} Las inversiones térmicas determinan casos muy acusados de equilibrio estable: cualquier porción de aire que comenzara a elevarse adiabáticamente estaría inmediatamente sometida a una fuerte acción contraria. Por ello son tan peligrosas las inversiones en caso de contaminación: actúan como tapaderas que impiden el movimiento vertical y la difusión del aire contaminado.

Como norma, cuanto mayor sea la temperatura --y la humedad-- de una capa de aire, mayor será también su tendencia a la inestabilidad. Esta consideración permite entender el enorme potencial energético que desarrolla la atmósfera tropical, ejemplificado por los temibles ciclones tropicales que se forman estacionalmente cuando, por efecto de la acusada insolación, la temperatura superficial de grandes áreas oceánicas sube por encima de los 27°C.

3. Movimientos del aire

La situación de estabilidad o inestabilidad del aire rige su desplazamiento vertical, que resulta determinante a efectos de la condensación del vapor de agua que contenga. El movimiento vertical del aire es cuantitativamente pequeño: su velocidad no suele pasar de 0.1 m/s, aunque en las corrientes ascendentes relacionadas con fuertes tormentas puede alcanzar los 30 m/s. La componente horizontal del movimiento del aire (propriadamente, el "viento") es mucho más acusada. El viento consiste en aire que se desplaza de una zona a otra de presión más baja que la primera.

Se verifica una interacción dialéctica entre la estructura de presiones y el sistema global de vientos. La magnitud de la presión barométrica sobre un punto en un momento determinado constituye un dato aislado de poca o nula utilidad. Sólo el conocimiento global, macroclimático, de la variación de la estructura de presiones puede permitir la predicción de los vientos dominantes a gran escala.

El viento constituye un fenómeno físico complejo, en el que intervienen factores tales como la viscosidad del aire, su fricción con el terreno y el gradiente horizontal de presiones (que a su vez queda modificado por el gradiente térmico). Se ve afectado también el viento por un factor llamado de Coriolis, que da cuenta de la medida en que la superficie de la tierra "gira" por debajo de la capa de aire en movimiento. La fuerza de Coriolis es una fuerza ficticia que permite explicar la desviación aparente de la trayectoria de un elemento en movimiento respecto a la superficie terrestre, considerada como fija. La fuerza de

Coriolis^{4/} que actúa perpendicularmente a la dirección del movimiento desviándolo aparentemente hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur, es máxima en los polos y va disminuyendo hasta anularse en el Ecuador. Esta misma fuerza es la que determina el hecho de que el viento no se dirija de los núcleos de alta presión directamente hacia los de baja presión, sino que tienda a desarrollarse en la dirección de las isobaras, o líneas de igual presión (viento "geostrófico"). El viento real se aparta de la dirección geostrófica a baja altura, por fricción con el terreno, y muy especialmente en las latitudes bajas, por disminución del parámetro de Coriolis.

Se denominan "flujos" aquellos vientos que, a escala macroclimática, presentan una clara regularidad. A la escala aludida, el sistema de flujos adopta la forma esquemática que se puede apreciar en la figura 28.

Se considera como "dirección del viento" aquella de la cual proviene, no aquella hacia donde se dirige. Las "rosas de los vientos" expresan la dirección, intensidad y/o frecuencia de los vientos promedio en un lugar determinado.

4. Condensaciones y precipitaciones

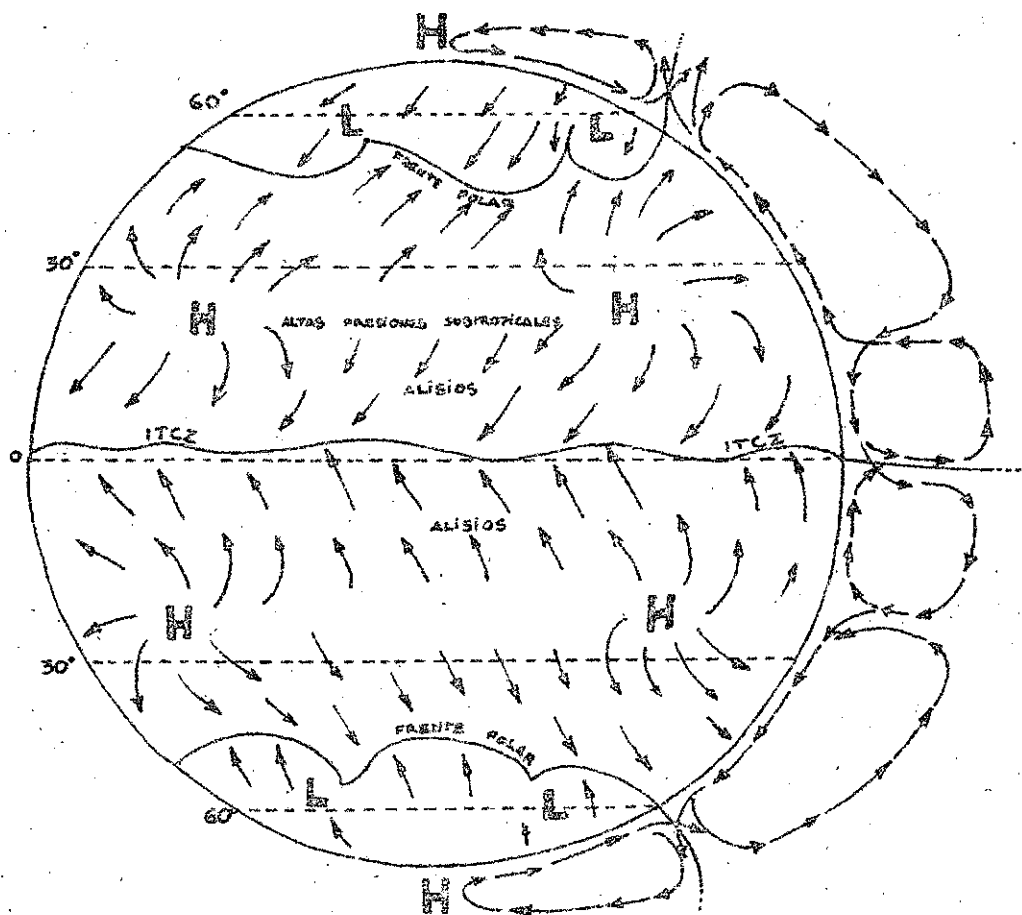
Quando una porción de aire que contenga vapor de agua se eleve verticalmente, es decir, cuando se produzca una "ascendencia", tendrá lugar un enfriamiento por reducción de presión. Por constituir el aire un elemento bastante aislante desde el punto de vista térmico, se verificará un intercambio energético bastante reducido con el resto de la masa en la que dicha porción se encuentra inmersa: por esta razón el mencionado enfriamiento podrá considerarse a efectos prácticos como adiabático. La consiguiente reducción de temperatura proseguirá mientras continúe la ascendencia. A determinada altura, la temperatura alcanzará el nivel del "punto de rocío".

4/ La fuerza de Coriolis por unidad de masa de aire se expresa en la forma siguiente: $F_c = 2 (\Omega \text{ sen } L) V$, donde Ω es la velocidad angular, prácticamente constante, del giro terrestre, L la latitud y V la velocidad que haya adquirido la masa de aire. Como puede apreciarse, cuanto mayor sea la velocidad del viento en una latitud dada, mayor será la fuerza de Coriolis. La velocidad y la dirección del viento se estabilizan cuando la fuerza de Coriolis es igual y de sentido contrario a la fuerza debida al gradiente de presión: esto es lo que se denomina "viento geostrófico". La expresión " $\Omega \text{ sen } L$ " se denomina parámetro de Coriolis.

Figura 28

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA ESTRUCTURA GLOBAL DE FLUJOS

(Adaptado de Critchfield 1974)



- H: Áreas subtropicales y polares de altas presiones permanentes.
- L: Áreas subpolares de bajas presiones permanentes.
- ITCZ: Zona intertropical de convergencia (sufre una ligera variación estacional).

En ese momento, la porción de aire se encontrará saturada de humedad: la humedad relativa será del 100%. Si persiste la ascendencia, el vapor de agua se condensará, cediendo calor latente. Esta cesión determina una disminución del gradiente adiabático en el caso del aire saturado.^{5/}

La condensación produce gotitas de diámetro muy pequeño. Si la temperatura ambiente fuese lo suficientemente baja aparecerían minúsculos cristales de hielo, ya sea por enfriamiento de las gotitas o directamente por sublimación del vapor de agua.

Este proceso que se acaba de describir es el que explica la formación de nubes, que no son sino la acumulación de gotitas de agua producto de la condensación. El proceso es, en principio, reversible. Si el aire en el que la nube se encuentre suspendida descendiera se produciría un calentamiento adiabático por incremento de presión que, a su vez, determinaría una reducción de la humedad relativa, pudiendo dar lugar a la evaporación de las gotitas y a la consiguiente disipación de la nube.^{6/} Todas las nubes se forman por enfriamiento adiabático. Las nieblas son de la misma naturaleza que las nubes --de hecho son simplemente nubes bajas-- pero su origen puede ser distinto. El enfriamiento del aire húmedo que da origen a nieblas puede también provenir de acciones de radiación y conducción: este caso se produce cuando el suelo se enfría mucho por radiación nocturna (tiempo frío, cielo despejado, poco viento).

Las ascendencias que generan nubes tienen varios orígenes: elevación gradual del aire sobre amplias áreas de baja presión, convección térmica local, turbulencia mecánica o ascenso sobre una barrera orográfica. Las nubes resultantes se denominan "altas" (cirros, cirrocúmulos, cirroestratos), "medias" (altocúmulos, altoestratos), o "bajas" (estratos y

^{5/} Para que el mecanismo de condensación se produzca tienen que existir "núcleos de condensación", es decir, partículas sólidas minúsculas, en suspensión en el aire. En un aire absolutamente puro y limpio se podría producir un fenómeno de sobresaturación, por medio del cual la HR ascendería muy por encima del 100%: en la "cámara de Wilson", por ejemplo, se consiguen artificialmente humedades relativas de hasta 700%. Normalmente el aire, incluso el considerado "limpio", contiene suficientes "núcleos" como para que se produzca condensación cuando la humedad relativa llega al 100.1%.

^{6/} Esta situación, cuando quede determinada por el descenso a sotavento de una barrera orográfica, se denomina "efecto foehn". Da lugar, entonces, a un viento seco y cálido que puede resultar bastante molesto.

nimboestratos, cúmulos y cumulonimbos, estas últimas llamadas "de desarrollo vertical") según que la altura de su base esté a más de 6 km, entre 2 y 7 km o por debajo de los 2 km.

Las gotitas de agua de las nubes tienen un diámetro que oscila entre 5 y 10 μ m. En determinadas circunstancias,^{7/} y mediante un proceso complejo de aglutinamiento y colisión, aún no aclarado en todos sus extremos, estas gotitas van fusionándose hasta producir gotas, normalmente del orden de 1 mm, que van cayendo hacia el suelo, en forma líquida o sólida. Se dice entonces que tiene lugar una precipitación. No todas las gotas de lluvia o las partículas de hielo llegan al suelo: muchas se evaporan o se subliman antes de llegar; pero si el fenómeno es bastante intenso el suelo podrá recibir una buena cantidad de agua, potencialmente de enorme utilidad para los fines humanos.

En puntos geográficos concretos, la precipitación se mide mediante pluviómetros, que en esencia son simples recipientes graduados. La intensidad de la precipitación se evalúa en milímetros (o en centímetros), atendiendo a la altura que el nivel de agua alcanzaría sobre la superficie horizontal del suelo si no se produjera escurrimiento, filtración ni evaporación. La intensidad de la precipitación depende del tiempo de medición. Los máximos mundiales detectados, por ejemplo, alcanzan las siguientes magnitudes: 10 min - 20 cm; 3 horas - 75 cm; 12 horas - 140 cm; 1 día - 2 m; 1 mes - 10 m.

Cuando la lluvia, la forma más corriente de precipitación, supera los 1.3 cm/día, puede ya ser causa de serias erosiones en los suelos desprotegidos. Existen además otros efectos desfavorables posibles: inundaciones no controladas, dilución, transporte y eliminación de nutrientes vegetales, que determinan la fragilidad del equilibrio ecológico en las zonas de intensa precipitación (trópico húmedo, regiones ecuatoriales).

El reparto geográfico de las precipitaciones promedio se estudia en mapas sobre los que se han trazado las curvas isoyetas (líneas que unen puntos de igual intensidad de precipitación). Sobre un mismo lugar, el régimen estacional de precipitaciones se representa mediante un diagrama de barras.

^{7/} Para la transformación de gotitas de nube en gotas de lluvia es necesaria la presencia de núcleos de solidificación, que en general están constituidos por pequeñas partículas de hielo. Este es el principio que rige la "siembra" artificial de nubes para provocar lluvia.

5. Tipología de climas

1) Los factores climáticos y la situación atmosférica que éstos determinan --el "tiempo"-- suelen resultar sumamente variables. Estrictamente hablando, cada situación es irrepetible. No sería posible el diseño de estrategias generales para abordar la dimensión bioclimática si no se operara previamente una reducción tipológica del conjunto, en principio infinito, de situaciones climáticas. La reducción tipológica es una operación de clasificación que tiende a poner orden en la información disponible, con objeto de facilitar su acceso y su comunicabilidad. La usual recurrencia relativa, determinable por procedimientos estadísticos, de las situaciones climáticas que se presentan en cada lugar concreto confiere un sentido específico a la operación de clasificación climática, la cual, como toda clasificación científica, dependerá tanto de los intereses sociales, históricos, del clasificador como de la realidad objetiva del corpus a clasificar. Los referidos intereses sociales de partida son los que determinan la pertinencia de los rasgos que sirven de piedra de toque para cada clasificación. No existe pues una clasificación "neutra", objetiva, en sentido absoluto.^{3/}

Históricamente, los principales intereses a partir de los cuales se han desarrollado las clasificaciones climáticas aplicadas han coincidido, en términos generales, con los de la agronomía. Las clasificaciones climáticas clásicas han surgido más como instrumentos de conocimiento útiles para la producción agropecuaria que como elementos de estudio del confort/malestar bioclimáticos. Este hecho no obedece sólo al lógico interés por los factores que afectan a la producción agrícola o animal, de la que depende la supervivencia humana, sino que responde también a una lógica funcional: la vegetación, especialmente la natural, resulta más sensible a los cambios climáticos que el hombre, adaptable por naturaleza. Las fitoclasificaciones climáticas toman más en consideración las correlaciones concretas entre los

^{3/} Respecto al clima, se han desarrollado tres categorías de clasificación: la empírica, centrada en las características directamente observables del clima, la genética, que se basa en la consideración de las causas meteorológicas estables que determinan cada clima y la aplicada que se fija en los efectos que cada clima provoca en otro orden de fenómenos. Esta última constituye la categoría más importante de las clasificaciones climáticas. En la práctica, sin embargo, no se da una separación tajante entre los tres principios clasificatorios, siendo frecuente encontrar clasificaciones mixtas.

elementos climáticos, que los elementos mismos, abstraídos analíticamente. Así, por ejemplo, detectan correlaciones como la de temperatura/humedad, cuyo efecto sobre la vegetación es más determinante que el del dato aislado de la magnitud de la precipitación promedio. Sin embargo, no todo es ventaja en las fitoclasificaciones climáticas: sin que explícitamente se desee, fuerzan a tomar en cuenta factores como los geológicos o los edafológicos que, conjuntamente con los climáticos, también determinan el paisaje vegetal. Por otra parte, la delimitación de dominios climáticos no resulta una operación simple, pues los cambios en el paisaje natural no corresponden mecánicamente a los valores cuya magnitud miden las estaciones meteorológicas, como los que se expresan en los mapas con curvas isotermas o isoyetas.

2) Entre todas las clasificaciones climáticas clásicas, la propuesta originalmente por W. Köppen (1846-1940) es la que ha adquirido más amplia difusión y aceptación. En las versiones presentadas en los primeros años de nuestro siglo, la base de la clasificación de Köppen era estrictamente fitoclimática. Más adelante introdujo su autor criterios numéricos que fueron dando un sentido más empírico a la clasificación. En sus versiones posteriores, la clasificación de Köppen centra la pertinencia en dos rasgos básicos: el régimen de temperaturas y el de precipitaciones. La clasificación aludida ha ido evolucionando y sufriendo múltiples adaptaciones para cada situación regional. En el cuadro 6 se presenta una de las versiones más difundidas. Un clima concreto se puede expresar mediante una notación convencional: la primera letra indica la categoría general, la segunda, el régimen de precipitaciones y la tercera, el régimen de temperaturas. Se podrá todavía añadir una cuarta letra que haga referencia a algunas características especiales.

Existen otras clasificaciones más complejas y precisas, como la de Thornthwaite (1949), que se basa en la capacidad de evapotranspiración del suelo. Las exigencias de las plantas quedan así mejor reflejadas, pero la clasificación de Thornthwaite no implica ninguna ventaja para el estudio del comportamiento biotérmico humano. Se recomienda pues atenerse a la tipología de Köppen, a efectos de una clasificación muy general, compartible por disciplinas de muy variados intereses, y proceder a investigar una estructuración de tipos climáticos que resulte más específica para los fines del ecodiseño.

CLASIFICACION CLIMATICA DE KOPPEN

Categoría General o Dominio Climático	Límites del dominio	Precipitación	Régimen térmico	Notación
A cálido tropical lluvioso	temperatura media del mes más frío $\geq 18^{\circ}\text{C}$	-f: Precipitación del mes más seco ≥ 6 cm (Selva tropical) -m: Precipitación del mes más seco $10 - r/25$ ($r < 6$ cm (tropical monzónico)) -w: Precipitación del mes más seco $< 10 - r/25$ (Sabana tropical)		Af Am Aw
B árido	70% -o más- de r en la mitad más cálida del año y $r < 2t + 28$ O bien: 70% -o más- de r en la mitad del año más fría y $r < 2t$ O bien: Ninguna mitad del año recibe más de 70% de r, y $r < 2t + 14$	W: $r < 1/2$ del límite superior que caracteriza a B. (desierto) S: $r > 1/2$ del límite superior que caracteriza a B. (estepa árida)	h: $t > 18^{\circ}\text{C}$ k: $t < 18^{\circ}\text{C}$	BWh BWk BSh BSk
C templado de invierno suave	Mes más cálido: $t_m > 10^{\circ}$ (Y mes más frío): $0^{\circ} < t_m < 18^{\circ}$	-s: Precipitación en el mes más seco de la mitad más cálida del año: $r_m < 4$ cm y $r_m < 1/3 r'$ (precipitación del mes más húmedo de la mitad más fría del año) -w: Precipitación del mes más seco de la mitad más fría del año, $r_m < 1/10$ de r' (precipitación del mes más húmedo de la mitad más cálida del año) f: Precipitación que no obedece al criterio de s ni al de w.	a: t_m (mes más cálido) $\geq 22^{\circ}$ b: t_m (4 meses más cálidos) $> 10^{\circ}$ y t_m (mes más cálido) $< 22^{\circ}$ c: temperatura de uno a tres meses $t_m > 10^{\circ}$ temperatura del mes más cálido: $t_m < 22^{\circ}$	Csa Csb Csc Cwa Cwb Cwc Cfa Cfb Cfc
D templado de inviernos rigurosos	Temperatura del mes más cálido: $t_m > 10^{\circ}$ siendo la del mes más frío $t_m < 0^{\circ}$	s: igual que en C w: igual que en C f: igual que en C	a: igual que en C b: igual que en C c: igual que en C d: temperatura del mes más frío $< -38^{\circ}$	Dsa, Dsb, Dsc, Dsd, Dwa, Dwb, Dwc, Dwd, Dfa, Dfb, Dfc, Dfd
E polar	temperatura del mes más cálido: $t_m < 10^{\circ}$	T: temperatura del mes más cálido: $0^{\circ} < t_m < 10^{\circ}$ F: temperatura del mes más cálido: $t_m < 0^{\circ}$		ET EF
H clima de altura	Igual que en E, pero debido a la altura			HT HF

t: temperatura media anual en $^{\circ}\text{C}$, r: precipitación media anual en cms.

6. Clima, mesoclima y microclima

Los fenómenos de los que hasta ahora se ha hablado se detectan sólo a escala macroclimática, no se relacionan directamente con la experiencia humana, aunque en última instancia constituyen una determinación fundamental de la misma.

Se denomina mesoclima al conjunto de condiciones climáticas que se manifiestan en un entorno aislable cuya extensión abarque algunos kilómetros cuadrados, en el que se particularizan los macrofenómenos climáticos en función de las características locales del entorno delimitado.

El microclima se refiere a las condiciones atmosféricas muy localizadas, detectables en los primeros metros de altura sobre la superficie. El microclima es pues una categoría que incluye exclusivamente los elementos climáticos que afectan más directamente a un ser humano concreto, que desarrolle una actividad en un lugar determinado.

Los sucesivos cambios de escala que conlleva el paso del macroclima al mesoclima y de éste último al microclima, implican generalmente modificaciones muy acentuadas en las características de los elementos climáticos. Al ser tan variables las condiciones locales, resulta muy difícil pretender abordar en lo general la particularización mesoclimática de un macroclima cualquiera, y aún más precisar la ulterior concreción a escala microclimática. Sin embargo, la frecuencia con que se presentan algunas clases de configuraciones locales permite intentar tipificar ciertas situaciones mesoclimáticas.

Algunos mesoclimas típicos

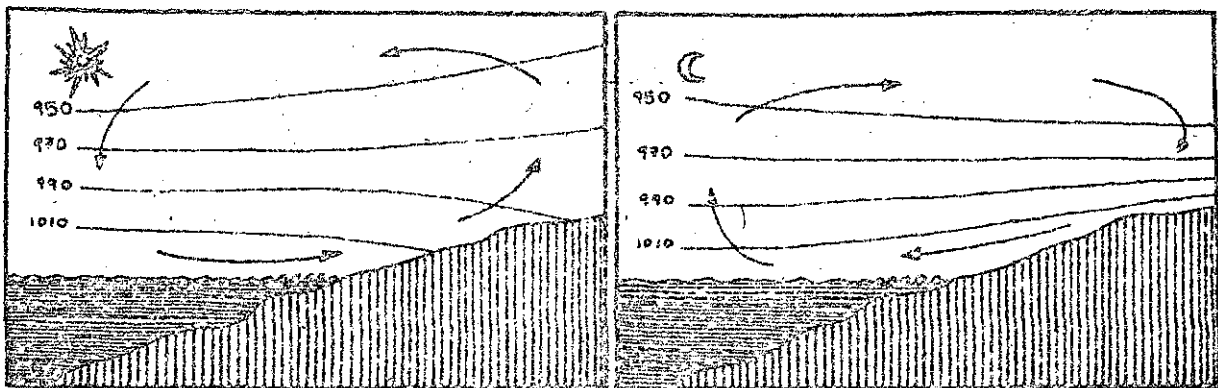
i) Mesoclimas costeros. El muy diverso comportamiento frente a la radiación solar de las superficies terrestres respecto a las marinas constituye la causa del carácter cíclico cotidiano del régimen de brisas en las zonas costeras. De día, debido a la insolación, la temperatura de la superficie de la tierra firme se eleva muy por encima de la del mar, produciéndose sobre todo en las primeras horas de la tarde una actividad convectiva de la que resulta, a baja altura, la conocida brisa marina, generalmente recibida con alivio.

/De noche,

De noche, y especialmente con cielos despejados, la situación se invierte, tal como puede apreciarse en la figura 29. La exposición a un flujo zonal puede modificar el régimen descrito, ya sea reforzando la brisa marina o la terrestre y, correlativamente, reduciendo o anulando la contraria. El factor de Coriolis podrá desviar notoriamente las brisas resultantes, particularmente en las latitudes altas.

Figura 29

BRISAS DEL MESOCLIMA COSTERO



Brisa marina diurna

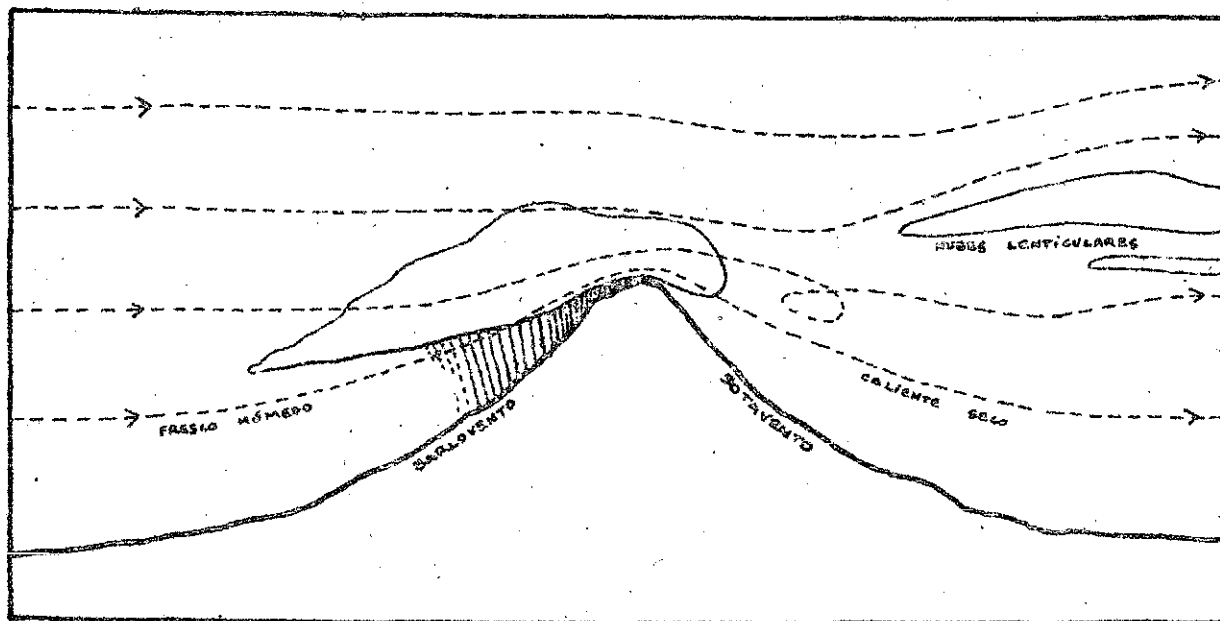
Brisa terrestre nocturna

ii) Mesoclimas de barreras orográficas. La interacción de un flujo con una barrera orográfica genera un mesoclima bastante predecible. A barlovento se produce una ascendencia que determina generalmente condensaciones en forma de nieblas o nubes bajas. Si el aire del flujo contiene suficiente humedad y la ascendencia es prolongada, se producirán copiosas precipitaciones.

La subsidencia de sotavento implica un aumento de temperatura y una disminución de la humedad. En esto consiste el ya mencionado "efecto de foehn", que toma su nombre de un viento local de los Alpes. Los mesoclimas respectivos de las laderas de una barrera orográfica diferirán pues considerablemente: la de barlovento será fresca y húmeda, la de sotavento más caliente y seca. (Véase la figura 30.)

Figura 30

EFFECTO DE UNA BARRERA OROGRAFICA EN UN FLUJO

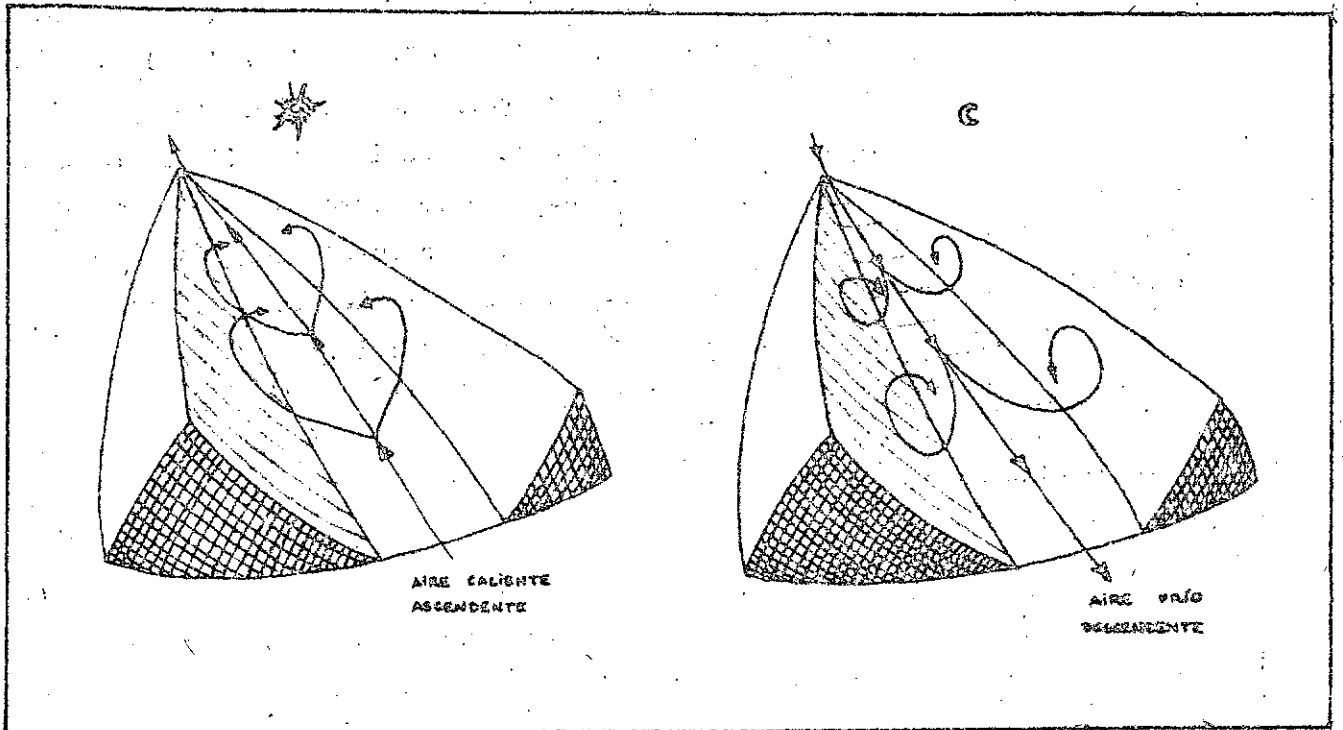


iii) Mesoclimas de valles. El movimiento del aire en los valles limitados por elevaciones montañosas presenta también un carácter cíclico. De día el aire, especialmente en las laderas asoleadas, se calienta y se eleva, ascendiendo por el valle. De noche el aire se enfría, adquiriendo mayor densidad. La masa de aire frío se encauza bajando por el valle como si se tratara de un líquido. Cualquier obstáculo en su bajada se comportará como un dique que acumulará el aire frío. Este principio, como se verá más adelante, es de sumo interés para el diseño urbano. El aire fresco de vaguadas boscosas próximas a un área urbana puede ser encauzado hacia el centro de la ciudad siempre que no se dispongan obstáculos tales como grandes edificios atravesados, consiguiéndose así un considerable alivio en el mesoclima del centro urbano. (Véase la figura 31)

/Figura 31

Figura 31

MESOClima DE VALLE: MOVIMIENTOS CICLICOS DE AIRE



iv) Mesoclimas urbanos. El proceso de urbanización tiene unas profundas implicaciones climáticas que, con demasiada frecuencia, no suelen tomarse en cuenta a la hora de planificar y diseñar el asentamiento.

Son varios los factores que determinan el mesoclima urbano, entre los que pueden destacarse los siguientes:

- 1) Transformación artificial de la superficie terrestre.
 - Los materiales de la superficie urbana difieren de los del paisaje natural. Los materiales urbanos poseen una capacidad térmica entre dos y tres veces más alta que la de los materiales de los paisajes naturales. Resultan ser además mejores conductores. Las edificaciones almacenan, pues, calor en horas de fuerte insolación y lo restituyen

/lentamente

lentamente por la noche. También el albedo promedio puede sufrir modificaciones al pasar del campo a la ciudad.

- La forma de la superficie urbana es también muy distinta de la del paisaje natural: a gran escala resulta más "rugosa", de lo cual resulta una mayor fricción entre la superficie y los vientos locales. Las superficies externas de las edificaciones operan como reflectores y radiadores que en su conjunto amplifican los efectos de la radiación incidente. El efecto diferenciador respecto al campo de este factor urbano se acentúa cuando la altura solar es reducida: el paisaje natural presenta muy pocas superficies verticales sobre las que puedan incidir los rayos solares.

2) Modificación de la evapotranspiración.

La usual infraestructura de drenaje urbano elimina rápidamente la precipitación que cae sobre la ciudad. Se impide así, o se atenúa, la incorporación natural de humedad al terreno. La evapotranspiración urbana promedio es muy reducida comparada con la de las áreas rurales adyacentes.

3) Aumento de la contaminación atmosférica.

Las actividades urbanas generan humos, gases y polvos que se van incorporando a la atmósfera, contaminándola. Por una parte, las sustancias en suspensión en el aire reducen la tasa de insolación que recibe la superficie, pero por otra entorpecen la libre transmisión hacia el espacio de la radiación terrestre.

4) Generación local de energía térmica.

Las ciudades constituyen fuentes de calor tecnógeno, producido por las industrias, los vehículos de transporte y algunas infraestructuras. A estos factores se suman, en las latitudes medias y altas, las calefacciones domésticas.

Los factores descritos se conjugan para producir un conjunto de efectos, el más importante de los cuales consiste en una apreciable elevación de la temperatura media de las áreas urbanas, que resultan ser de 1°C a 2°C más calientes que las zonas rurales adyacentes. Las diferencias momentáneas de temperatura entre la ciudad y el campo pueden ser mucho mayores; pueden rebasar, especialmente en verano, los 8°C. Se habla en este sentido de la "isla urbana de calor", particularmente acusada de noche y en áreas urbanas protegidas del viento.

No parece que se pueda establecer una relación lineal entre el tamaño de la ciudad y la intensidad de la isla de calor.

En el siguiente cuadro comparativo se podrá adquirir una idea de la variación media de los demás elementos climáticos.

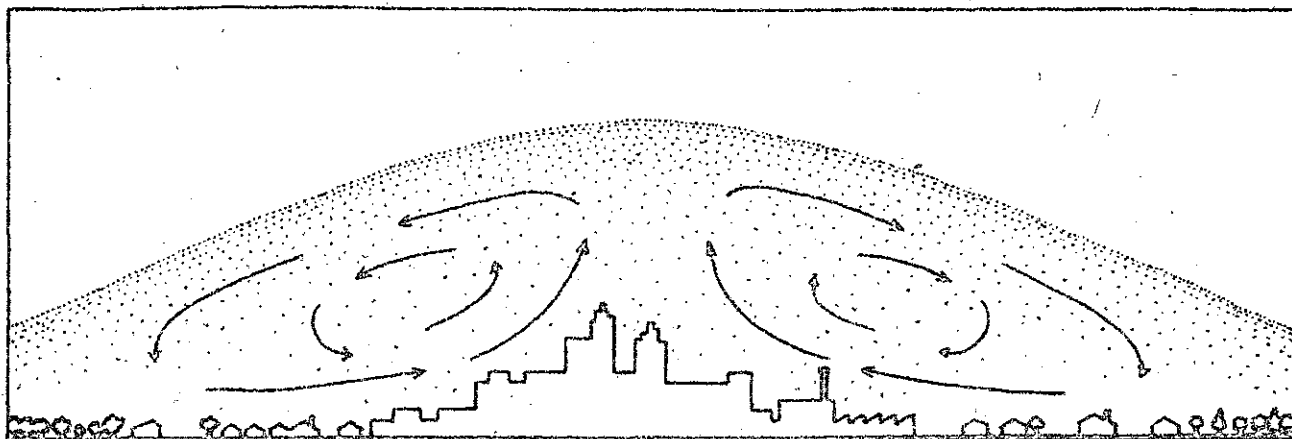
Efectos medios de la urbanización sobre los elementos climáticos:

Elementos	Magnitud en áreas urbanas, comparada con la correspondiente a la zona rural adyacente
Contaminantes/partículas sólidas	10 veces más
gases	5 a 25 veces más
Nubosidad	5 a 10% más
Niebla de invierno	5 a 100% más
Niebla de verano	5 a 30% más
Precipitación	5 a 10% más
Humedad relativa en invierno	5 a 2% menos
Humedad relativa en verano	5 a 8% menos
Radiación total sobre superficie horizontal	15 a 30% menos
Horas efectivas de sol	5 a 15% menos
Velocidad del viento media anual	20 a 30% menos
Calmas	5 a 20% más

Datos de Critchfield (1974) y Landsberg (1962).

Figura 32

ISLA DE CALOR Y CONTAMINACION SOBRE UNA ZONA URBANA.
REPRESENTACION DEL MOVIMIENTO CONVECTIVO DEL AIRE



7. Datos meteorológicos y clasificaciones climáticas para el ecodiseño

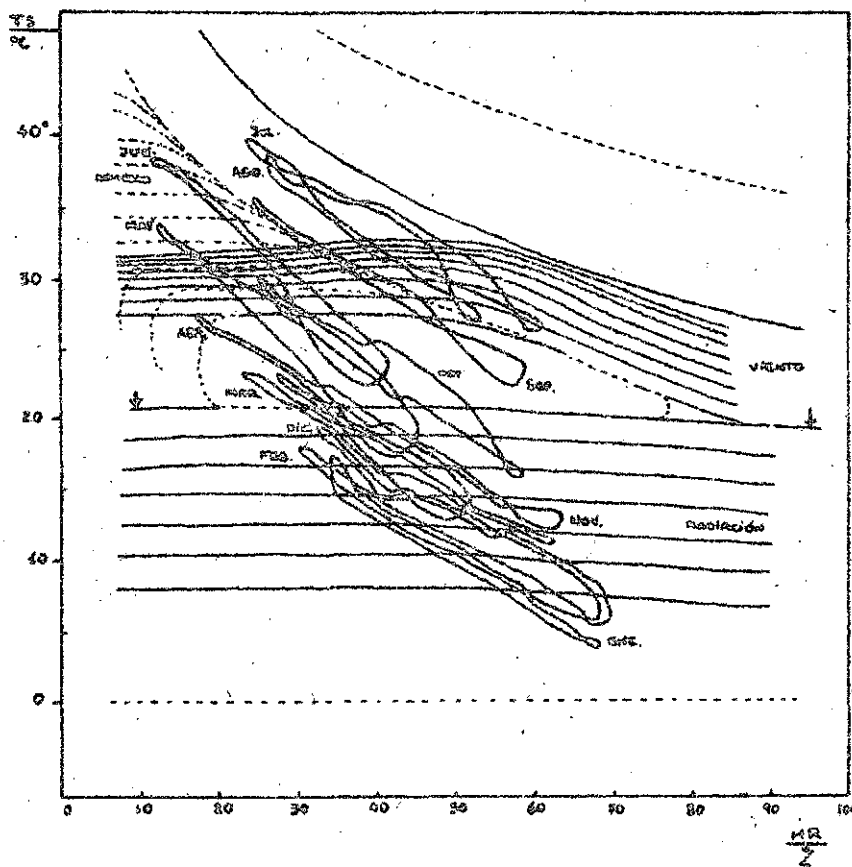
a) Clima oficial y clima vivido

Las estaciones meteorológicas reconilan y difunden datos que pretenden reflejar situaciones generales. Sin embargo, estos datos sólo reflejan, de hecho, microclimas muy particulares, determinados por la normativa que regula las circunstancias en que se ubican los instrumentos de medida. Con frecuencia tienen relativamente poca relación con la experiencia bioclimática cotidiana de los habitantes del asentamiento que desarrollan sus actividades normales. Las estaciones suelen ubicarse en áreas despejadas --observatorios, aeropuertos-- frecuentemente verdes. Los termómetros, por ejemplo, se sitúan a cierta distancia del suelo, 1.50 m aproximadamente, por encima de una superficie poco reflejante, con alta evapotranspiración --paso, preferiblemente-- y están contenidos en una caja que elimina el efecto directo de la insolación garantizando, al mismo tiempo, la libre circulación del aire. Sin duda estos termómetros detectan una situación climática muchísimo más cómoda que la que le toca vivir a un ciudadano apretado en un autobús de pasajeros o caminando a pleno sol sobre una calle asfaltada. Estas consideraciones bastan para cuestionar todo intento de transcripción literal inmediata de los datos meteorológicos oficiales a los modelos bioclimáticos referidos al confort/malestar térmicos del ser humano.

En este sentido, será conveniente manejar con gran precaución y algún escepticismo los métodos que habitualmente prescriben los escasos manuales ecotécnicos disponibles. Así, por ejemplo, Wakely (1978) plantea la pura y simple transcripción de los datos meteorológicos oficiales a la escala de temperaturas efectivas, sobre la base únicamente de dos velocidades hipotéticas del viento: la de 0.1 m/s y la de 2 m/s. Sobre esa escala de temperaturas efectivas se determina a continuación la ubicación de la zona de confort propia de la localidad. La contrastación entre la oscilación de las temperaturas efectivas y el margen de la zona de confort suministra el principal criterio tanto para un diagnóstico como para el consiguiente establecimiento de una estrategia de intervención. Una actitud parecida se detecta en Olgyay (1963), trabajo que propone transferir directamente los datos meteorológicos oficiales a la carta bioclimática standard. (Véase la figura 34.)

Figura 33

EVALUACION DE PHOENIX, ARIZONA (U.S.A.). TRANSCRIPCION
BIOCLIMATICA DE LOS DATOS METEOROLOGICOS
(Según Olgyay (1963))



b) Clasificaciones climáticas para el ecodiseño en regiones tropicales

En los primeros trabajos sobre ecodiseño de asentamientos se presentan ya algunas propuestas sobre tipologías climáticas específicas. Así, M. Fry/J. Drew (1964) proponen tentativamente la tabla clasificatoria de climas cálidos elaborada por la Building Research Station (hoy Building Research Establishment), ubicada en Watford, Inglaterra, y estructurada teniendo en cuenta las necesidades de los diseñadores en zonas tropicales. Se reproduce a continuación una versión métrica de esta tipología climática tropical.

/Wakely (1978)

Wakely (1978) reproduce prácticamente esta misma propuesta tipológica.

Lo mismo hace Evans (1977), pero sugiere además algunos indicadores elementales, como los siguientes:

Indicadores de humedad

H1: Movimiento del aire indispensable

Temperatura mensual máxima media por encima de la zona de confort, HR>70% ó 30<HR<70% y oscilación diurna media<10°C

H2: Movimiento del aire deseable

Temperatura mensual máxima media en zona de confort pero HR>70%

Indicadores de aridez

A1. Gran inercia térmica necesaria

Oscilación diurna media >10°C, HR<70%

A2. Necesidad de espacio para dormir al aire libre

Temperatura mensual mínima media por encima del límite de confort nocturno HR<50%. O bien: temperatura máxima por encima de la zona de confort diurna, oscilación diurna>10°C y HR<50%

Indicadores de frío

C1. Radiación solar deseable

Temperaturas mensuales máximas medias por debajo de la zona diurna de confort

C2. Calefacción adicional

Temperatura mensual máxima media <15°C

CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS DE CLIMA

Características climáticas	Climas cálidos y húmedos acuosos	Temperatura afectado por alturas	Climas intermedios (con estación seca) templado o semi-templado	Climas cálidos secos Desértico o semi-desértico	Clima del alturo Continental más de 1200 m. sobre nivel del mar
Temperatura y humedad	3° - 8°C 19 - 27°C En pleno agosto puede bajar por debajo de los 17°C. Cost nunca supera la temperatura de la piel del cuerpo humano.	0°C a 30°C más 25° - 31°C	estación seca: 11°C (o más) estación húmeda: 5° - 8°C estación seca: 17°C (o más) estación húmeda: como clima intertemperado	11°C (o más) puede superar los 22°C 18°C a más 13 durante verano o la de la piel	11° - 17°C Ejemplo de 11 altura. A 1800 m: 24° - 17°C.
Humedad	El mes cálido puede disminuir hasta los 21°C. El mes frío puede ser 3° - 8°C	18° - 24°C 5°C	estación seca: 21° - 27°C estación húmeda: 24° - 27°C 6° - 11°C	24° - 29° en período más cálido 10° - 18° en período más frío	A 1800 m: 18° - 13°C. Pero puede bajar por debajo de los 4°C. Zonas heladas ocasionales.
Presión	Dependiendo de la altura	En muchas ocasiones, por debajo de la temperatura del aire en superficie.	variación estacional.	Depende del contenido de polvo del aire.	Depende de la altitud. Poco oscilación en el Ecuador. En las montañas: 11° - 21°C. En las montañas altas, muy inferiores a la altura que está otro en superficie.
Características de la precipitación	25 - 40 mm 35 - 100 mm Siempre bastante superior a los 200 mm.	17.5 - 25 mm	estación seca: 13 - 16 mm. estación húmeda: 20 - 25 mm. estación seca: 10 - 35 mm. Variación: 10 - 130 mm.	19 - 25 mm.	Estación más húmeda: 12 - 16 mm. Estación más seca: 0 - 12 mm. Precipitación en invierno: 45 - 100 mm. Precipitación en verano: 20 - 40 mm. Precipitación en primavera: 100 mm. Precipitación en otoño: 100 mm.
Humedad	El mes cálido puede ser brillante con nubes altas o algunas nieblas. Vegetación exuberante.	Depende de la precipitación	Vegetación: no hay precipitación en la estación seca. 10 - 25 mm en el mes más húmedo.	Hay poca vegetación. Hierba o zona de colinas secas.	En estación húmeda: poca vegetación. En estación seca: poca vegetación. Vegetación desértica o semi-desértica.
Humedad del suelo	Normalmente húmedo. Nivel freático alto. Suelo frecuentemente inundado.	Normalmente seco. Nivel freático bajo.	Saca rápido tras un precipitación. Hay peligro de erosión rápida.	Suelo muy seco. Nivel freático intermediano o muy profundo.	En estación húmeda: poca vegetación. En estación seca: poca vegetación. Vegetación desértica o semi-desértica.
Humedad del aire	En las montañas, el viento puede ser bastante fuerte, de día y de noche. Puede haber niebla o neblina en los días locales. El mes cálido puede ser brillante con nubes altas o algunas nieblas.	En las montañas, el viento puede ser bastante fuerte, de día y de noche. Puede haber niebla o neblina en los días locales. El mes cálido puede ser brillante con nubes altas o algunas nieblas.	Estacional. Viento fuerte y cambiante en el período más húmedo.	Puede tener niebla por viento los días locales y por transpiración.	Variable. Depende de la topografía.
Características climáticas	El mes cálido puede ser brillante con nubes altas o algunas nieblas. Vegetación exuberante.	En las montañas, el viento puede ser bastante fuerte, de día y de noche. Puede haber niebla o neblina en los días locales. El mes cálido puede ser brillante con nubes altas o algunas nieblas.	Estacional. Viento fuerte y cambiante en el período más húmedo.	Puede tener niebla por viento los días locales y por transpiración.	Variable. Depende de la topografía.

VI. DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS: ASPECTOS GENERALES

1. Diseño y sociedad

En virtud de que el diseño bioclimático no constituye un simple aspecto técnico que pueda superponerse a una práctica única, incuestionada y ajena a toda crisis, carecería por completo de sentido pretender limitar su problemática a la simple elaboración de un recetario operativo que tradujera en términos de diseño unos requerimientos bioclimáticos preestablecidos. Toda operatividad inmediata resultaría ilusoria si se pierde de vista la urgente necesidad de comprender los procesos históricos globales y sus profundas transformaciones contemporáneas, porque son precisamente esos procesos los que confieren sentido a las distintas prácticas del diseño. La requerida toma de conciencia pasará forzosamente por la eliminación de algunos equívocos conceptuales, el primero de los cuales se centra en la ambigua idea de "diseño" como actividad total y universal que, supuestamente, se desarrollaría en forma estructuralmente estable en una amplísima gama de contextos y escalas de intervención (en la formulación clásica: "de la cucharilla de café al territorio"). Es posible acotar en forma más precisa el contenido del concepto de "diseño", entendiéndolo como proceso que determina la configuración global y específica de un objeto. Resulta imprescindible entonces comprender el carácter heterogéneo, jerarquizado, histórico, de los diferentes niveles que se ocultan tras la apariencia unitaria del concepto mismo.

Tomando un ejemplo que voluntariamente se limitará a la escala de los asentamientos humanos, es fácil comprender que, si bien todo asentamiento urbano o rural se estructura según un conjunto genérico de determinaciones sociales, la configuración concreta de una colonia popular "espontánea" no se rige por las mismas reglas, ni obedece a los mismos factores, ni se evalúa según los mismos parámetros, que la de un fraccionamiento especulativo. No se trata tan sólo de que ambos casos difieran en su forma física o en su funcionamiento social; lo fundamental es

/comprender

comprender que se insertan en sistemas distintos que coexisten, e incluso se explican mutuamente, sin perder por ello una relativa especificidad propia. Cada uno de estos sistemas, que constituyen aspectos diferenciables de una formación social, se articula según un conjunto de prácticas, algunas de las cuales atañen directamente a la configuración del tipo de asentamiento en cuestión. El análisis conjunto de estos sistemas y de estas prácticas permite cuestionar la excesiva y engañosa genericidad de expresiones tales como "la comunidad", "la ciudad", "el diseño de los asentamientos humanos", etc., que de hecho encubren la heterogeneidad de la realidad concreta.

Para caracterizar los dos principales "sistemas" detectables en la mayoría de las formaciones latinoamericanas, se ha hablado en primera aproximación, y en términos todavía bastante impropios, del "sector formal" y el "sector informal". El mecanismo de clasificación y subclasificación de los sistemas se tendrá que basar en la consideración de los niveles de institucionalización de las prácticas y de las ideologías subyacentes a dichas prácticas. En lo que se refiere a los asentamientos humanos, se detectan en un extremo prácticas altamente institucionalizadas, manejadas preferentemente por profesionistas, que corresponden a formaciones ideológicas con función dominante, perfectamente estructuradas, conservadas, transmitidas y difundidas por medio de instituciones y aparatos de Estado. En el otro extremo se hallan prácticas asumidas de facto, poco o nada institucionalizadas en el nivel cultural, pero en absoluto aleatorias, y con frecuencia sumamente rígidas. El calificativo de "informal" utilizado para referirse a estas últimas resulta probablemente inadecuado.

El sector más "formal" determina directamente una parte cuantitativamente mínima del conjunto de los asentamientos humanos, pero su importancia cualitativa es enorme en función de la dominación que ejerce sobre los demás sectores.

Las ideologías dominantes en el ámbito del diseño de los asentamientos humanos desbordan el marco del sector formal y se manifiestan, en forma a veces desfasada y distorsionada, aún en las prácticas menos institucionalizadas y normadas.

La ya subrayada heterogeneidad de las prácticas sociales es detectable no sólo sincrónicamente, es decir, en la situación social tal como se manifiesta en un momento dado, sino también en su devenir histórico. Con frecuencia la noción de estabilidad y permanencia de una práctica concreta se revela como un mero efecto ideológico que encubre una profunda transformación real, relacionada con la constante reestructuración de la división social del trabajo.

En función de cuanto se ha expuesto, los parámetros para referirse al diseño de los asentamientos humanos no podrán ser estables ni universales; tendrán que adecuarse a la realidad social concreta, a la vez estructurada y cambiante.

2. Las determinaciones de los diseños

Una vez establecida la necesidad de situar en su complejidad real la múltiple problemática de los diseños de los asentamientos humanos es posible reubicar la consideración bioclimática en el marco de las dimensiones de análisis de los asentamientos. Mal que les pese a algunos deterministas, es evidente que los asentamientos no surgen mecánicamente como simples factores de mediación climática, especialmente en las zonas templadas y cálidas. Sobran ejemplos, extraídos de los más variados contextos históricos y antropológicos, de asentamientos cuya configuración parece contradecir abiertamente las condiciones bioclimáticas naturales. Incluso en el ámbito de la llamada "arquitectura popular" o folklórica, evolucionada por lenta interacción con un entorno físico estable, es posible, como lo hace Rapoport (1969), detectar casos de flagrante disfuncionalidad climática. La estructuración de los asentamientos parece obedecer a un conjunto variable de determinaciones múltiples, entre las cuales figuran desde luego las de índole bioclimática. A riesgo de escindir analíticamente dimensiones que en la realidad se encuentran íntimamente vinculadas, es factible distinguir los siguientes aspectos funcionales, presentes en todo entorno artificial humano:

a) Delimitación de espacios

En su concreción física, todo entorno artificial delimita, cualifica, jerarquiza un sistema espacial al que se adaptan las actividades humanas. La delimitación de espacios no es de índole exclusivamente físico-geométrica: el factor simbólico que se menciona más adelante opera también en casi todos los casos. Las condicionantes culturales tanto como las estrictamente perceptuales determinan en cada caso el modo de la delimitación espacial.

b) Valor del entorno como producto económico

El proceso de construcción, transformación y mantenimiento de los asentamientos incorpora gran cantidad de trabajo por parte de los individuos socialmente organizados que en él intervienen. Surge así un valor económico inherente a los asentamientos, que se puede manifestar bajo la forma, más o menos distorsionada, del sistema de precios.

c) Dimensión simbólica del entorno físico

Los elementos de todo asentamiento se distinguen y adquieren significación por hallarse inmersos en un proceso ideológico-cultural que determina la conciencia individual de cada uno de los usuarios. El valor simbólico de cada elemento es un hecho social que sólo puede explicarse en función de la organización cultural global, en continuo proceso de desarrollo y cambio.

d) Mediación bioclimática del entorno construido

El entorno construido implica, en su concreción física, una transformación de las condiciones bioclimáticas originarias; actúa como un "filtro" ambiental cuya acción determina un complejo sistema de meso y microclimas.

Frente a los distintos sistemas y niveles de diseño a los que se aludía anteriormente, cada una de estas dimensiones de análisis puede adquirir diferente pertinencia y ponderación. En las prácticas sociales

de diseño con función dominante, la dimensión simbólica del entorno ha ejercido un papel preponderante en la determinación de la forma de los asentamientos. Esto no constituye en forma alguna un hecho nuevo: ya en las primeras civilizaciones aparecidas cobraba una importancia de primer orden el factor mítico-simbólico, sin el cual no pueden explicarse los procesos de prefiguración vinculados a las clases dominantes.

El interés consciente por la dimensión bioclimática es, en cambio, un hecho emergente incipiente vinculado a una situación de crisis y de transformación del mundo contemporáneo.

Este nuevo interés no tiene por qué resultar excluyente, ni redundar en perjuicio de las demás dimensiones funcionales. Surge precisamente de una toma de conciencia del carácter total del entorno humano, y de la necesidad de ejercer un mejor control colectivo sobre todas sus variables.

En la primera fase de su desarrollo, lo que pudiéramos caracterizar como "diseño bioclimáticamente consciente" parece toparse con una serie de trabas históricas, muchas de ellas de índole ideológica, que habrá de identificar para poderlas ir superando.

3. Hacia una transformación de la práctica del diseño

La transformación en un sentido progresista de la práctica dominante del diseño no depende de un gesto voluntarista de los diseñadores mismos. Su posibilidad está vinculada a una serie de cambios objetivos, internos y externos. La práctica del diseño se transformará en la medida en que lo haga su marco social de referencia.

La superación de la marginación que padecen grandes sectores de la población, la correlativa participación popular en la toma de las decisiones que afectan las condiciones de vida, la rotura de la estratificación social que determina sistemas que hoy funcionan casi como compartimentos estancos, aunque absolutamente interdependientes, determinarán sin duda un replanteamiento de los objetivos del diseño profesional. Los diseñadores, inmersos hoy en una práctica alienada, acostumbrados a resolver problemas ficticios o limitados, propios de un reducidísimo

sector social, tendrán que hacer frente a un reto de proporciones inusitadas. El reciclaje de los recursos humanos adquirirá entonces la prioridad histórica que le corresponde.

La explicitación y crítica racional de las prácticas ideológicas establecidas constituirá un primer paso necesario para la puesta en marcha del proceso de reinserción del diseño en los objetivos del desarrollo. Se podrán entonces comprender las implicaciones tanto sociales como ambientales de las tendencias establecidas del diseño, probablemente inviables en el nuevo contexto. Se estará entonces en condiciones de ampliar la escala de intervención, superando la atomización del marco de acción tradicional para abordar en su totalidad la dimensión ecológica, y concretamente la urbana, hoy inmanejable a partir de intervenciones puntuales e independientes. Se superará todo fetichismo al no considerar el entorno como un simple inventario de objetos físicos mercantilizables, como una mera colección de soportes materiales, sino como parte integrante de las relaciones sociales, sometida en igual medida que las instituciones al proceso de cambio histórico. El entorno construido asumirá plenamente su papel en la organización cultural de la formación social. La ampliación de la conciencia bioclimática en el diseño sólo adquiere su pleno sentido en el contexto de esta transformación total, tan necesaria como inevitable.

4. La crisis y las salidas

Un elemento concreto parece acelerar la transformación señalada: la conciencia cada vez más clara y universal de que los modelos de desarrollo vigentes, concretamente en lo que se refiere a los asentamientos humanos, resultan a largo plazo inviables en función de la crisis energética mundial. La realidad de esta crisis provoca la necesidad de un profundo reajuste sectorial, de orden más bien tecnológico, pero que pudiera servir de catalizador para el replanteamiento de las bases sobre las que se pueda establecer el mundo contemporáneo.

La crisis energética, crónica e insoluble a partir de las premisas actuales, constituye la ocasión ideal para replantear las relaciones

/internacionales

internacionales,^{1/} las intranacionales, las interpersonales y las relaciones de los hombres con su medio ambiente. Lejos de constituir una tragedia, dicha crisis podrá ser bienvenida en la medida en que haga que unas sociedades humanas cada vez más acostumbradas a la ficción retomen contacto con la realidad.

En el marco de esta crisis, la conciencia bioclimática del diseño juega un papel parcial, pero nada despreciable. Sabemos hoy que, con excepciones que confirman la regla, las obras que admirábamos en los textos clásicos de historia de la arquitectura contemporánea representan una especie en vías de extinción, condenada a desaparecer por incapacidad para adaptarse, especialmente en el terreno bioclimático, al nuevo contexto. Dejarán a corto plazo de funcionar como modelos indiscutibles para la práctica del diseño profesional y comenzarán a operar como brillantes piezas de un museo al aire libre.

No se trata de que el patrón arquitectónico establecido de relación con el medio ambiente, derivado del Movimiento Moderno, cada vez más ajeno a las condiciones locales y más dependiente de complejos sistemas de instalaciones que representan insaciables consumidoras de energía, resulte deseable pero inasequible por costoso: se va abriendo camino la idea de que en el fondo ni siquiera es deseable, en tanto que irracional. El diseño de los asentamientos no posee desde luego la exclusividad de la crisis: se puede citar el ejemplo, paralelo, del sector salud, donde sin renunciar al progreso científico, se comienza a cuestionar la validez social de las gigantescas máquinas hospitalarias de curar, cada vez más dependientes de un equipo sofisticado e inalcanzable, cada vez más yatrogénicas.

El diseño bioclimáticamente consciente no se limitará, pues, a un surtido de trucos para ahorrar en la cuenta de la energía; probablemente ni siquiera resulta compatible con los modelos urbanos existentes.

1/ En ese sentido se postula en los foros internacionales un Nuevo Orden Económico Internacional, que salde la etapa histórica neocolonial, y que probablemente deba correlacionarse con un Nuevo Orden Ideológico Internacional.

Implica una nueva actitud que se abre camino lentamente, y que no se debe confundir con las asunciones implícitas en algunas tendencias en boga, surgidas también en época reciente como las de la "casa autónoma", "la tecnología intermedia", la vuelta romántica a la arquitectura folklórica, entre otros planteamientos de dudosos alcances.

La "casa autónoma" parece constituir el sueño de la clásica pequeña burguesía anarquizante: el individuo aislado en su "hogar" que rompe todo lazo de dependencia con cualquier instancia social, genera en forma privada su energía, recicla sus desechos, produce su sustento. Robinson Crusoe redivivo. Encanto de un Edén que se rompería con cualquier sistema racional de solución colectiva de las necesidades básicas.

El movimiento de "la tecnología intermedia", en sus aspectos más negativos, recoge la tradición reaccionaria de la lucha contra toda industrialización, supuesta fuente de todos los males. Renuncia así a todos los progresos que los procesos industriales, debidamente controlados por la participación colectiva, puedan aportar.

La vuelta romántica al folklorismo representa la variante estética de la misma actitud criticada, que pretende hacer frente a la crisis tratando vanamente de hacer dar marcha atrás a la historia. Incluso lo que se viene denominando "arquitectura pasiva" no deja de presentar una connotación regresiva, en la medida en que parece propiciar una actitud de adaptación en el peor de los casos con ribetes místicos, a la naturaleza "virgen", excluyendo la abierta y consciente transformación de la misma por mano del hombre.

El diseño biclimático no va a renunciar a nada a priori, ni a las formas más elaboradas de cooperación y participación social, ni a las modalidades más industrializadas e incluso sofisticadas de producción, ni a las posibilidades de intervención a gran escala en los factores geográficos. Las únicas limitaciones serán las que imponga la realidad natural y social y el ejercicio olvidado de la imaginación humana. No quiere decir ello que cualquier tecnología, cualquier diseño sea en principio válido. Al respecto cabe señalar que una de las guías más prometedoras para el ejercicio de esta nueva libertad que

/se está por

se está por conquistar, pudiera encontrarse en el concepto, cada vez más difundido en los foros internacionales, de "tecnología apropiada", entendido como el conjunto de técnicas que en cada momento histórico y para cada formación social presente un balance más favorable en el proceso de evaluación de sus implicaciones sociales y ambientales. La consideración bioclimática se inserta plenamente en esta preocupación por la selección de tecnologías apropiadas.

5. Estrategias globales de diseño bioclimático

Los datos macroclimáticos disponibles al inicio de una acción de diseño de cierta envergadura constituyen un simple punto de partida para entablar con la naturaleza negociaciones regidas por una relación de fuerzas que depende, por una parte, del tipo de clima local y por otra, de la cualidad y cantidad de los medios de intervención. Las posibilidades, efectivas y económicas, de intervención en el orden mesoclimático suelen ser numerosas cuando la ubicación del asentamiento constituye una variable a manejar dentro de un margen señalado por los objetivos de planificación. Una vez fijada la ubicación, es posible todavía plantear una intervención ecotérmica a gran escala, especialmente mediante el manejo del factor vegetación. La última posibilidad de modificación global mesoclimática radica, en el caso de los asentamientos urbanos, en la selección de una tipología edilicia adecuada.

a) Modelos tipológicos/morfológicos urbanos

El impresionante crecimiento del proceso de urbanización contemporáneo, especialmente notorio en América Latina, obliga a dedicar una atención preponderante a los asentamientos urbanos. La mencionada necesidad de ampliar la escala de intervención del diseño hace cobrar nueva importancia al análisis de la forma urbana y de sus repercusiones mesoclimáticas, como paso previo a toda consideración de intervención puntual. El renovado interés por la forma urbana no se limita al campo de la apariencia visual, externa, de los elementos urbanos; abarca el ámbito global de su estructuración y se centra, muy concretamente, en

/la compleja

la compleja y variable relación entre la tipología edilicia y la correlativa morfología urbana. Un primer análisis de la configuración estructural de los tejidos urbanos existentes conduce a la identificación de algunos tipos urbanos históricos fundamentales, en los cuales puede concretarse el comportamiento mesoclimático descrito anteriormente en su generalidad. Con frecuencia, especialmente en las grandes metrópolis, el tejido urbano es heterogéneo, está compuesto por sectores que obedecen a diferentes tipologías y que se han ido agregando en las distintas etapas del proceso histórico de desarrollo de la urbe.

Entre los tipos más difundidos y más sólidamente establecidos en el ámbito cultural, cabe mencionar los siguientes:

i) La ciudad colonial típica latinoamericana. La forma preponderante, aunque no exclusiva, de los asentamientos coloniales españoles en América se basa en el clásico damero generado a partir de una plaza central. Este principio urbanístico, heredado de la planificación militar y aplicado en forma habitual e indiscriminada a lo largo y a lo ancho de los múltiples territorios que estuvieron sometidos a la corona española, ha determinado la homogeneidad estructural y el innegable parentesco que se puede apreciar al comparar la mayoría de los sectores centrales de las ciudades latinoamericanas de origen colonial. El principio en cuestión aparece sancionado y explicitado en forma sistemática en las Ordenanzas de 1573 ('Provisión en que se declara la orden que se ha de tener en las Indias, en nuevos descubrimientos y poblaciones que en ella se hicieren'), inspiradas directamente del texto clásico de Vitrubio que Felipe II conocía de primera mano por la traducción manuscrita que le presentó en 1565 F. Villalpando.

Tanto el texto antiguo de Vitrubio como las ordenanzas de 1573, así como otras disposiciones similares, manifestaban una profunda, aunque ingenua, preocupación bioclimática, que se revela en el cuidado con que instruyen acerca de la ubicación y diseño de los asentamientos. La normativa colonial, no siempre respetada por otra parte, prescribía por ejemplo soportales en la plaza central y sugería que fueran las calles amplias en los lugares fríos y, al contrario, estrechas en las zonas cálidas.

Las variables consecuencias mesoclimáticas del trazado típico colonial latinoamericano no han recibido hasta hoy mucha atención por parte de los investigadores.

ii) La ciudad "clásica" europea. Se alude con esta designación a la trama urbana generada principalmente durante el período de ascenso y consolidación de la burguesía industrial europea. Este tipo, caracterizado sobre todo por su compacidad habitacional, y del cual existen también abundantes ejemplos en América, suele asociarse con un mesoclima seco en función de su escasa capacidad de filtración y posterior evapotranspiración de la precipitación incidente. Sus espacios públicos presentan generalmente microclimas que se distinguen por la reducida magnitud tanto de la insolación recibida como del movimiento del aire, en comparación con los espacios del entorno natural circundante. No son despreciables, sin embargo, las microbrisas nocturnas, características de la ciudad clásica europea. La gran inercia térmica de la ciudad clásica reduce en gran medida la oscilación diurna de temperaturas, lo cual puede redundar favorablemente en el bienestar de sus habitantes. En su conjunto, este tipo funciona sin embargo como una especie de "anti-oasis", en el que apenas influyen, desde el punto de vista ecotérmico global, los pequeños parques que suelen insertarse en su tejido urbano.

iii) La ciudad-jardín. Gestada teóricamente en el medio intelectual de los reformistas sociales ingleses de finales del siglo pasado, la ciudad-jardín, frente a la ciudad clásica europea, se presentó como una alternativa que trataba de conjugar las ventajas del campo y de la ciudad. En su aspecto físico, la ciudad-jardín consiste en una trama habitacional dispersa, de baja densidad de población y que trata de incorporar en forma homogénea la vegetación a su tejido.

El modelo de la ciudad-jardín sirvió de pauta para la ampliación suburbial moderna de un gran número de ciudades en todos los continentes.

De hecho, los asentamientos espontáneos irregulares que hoy dan albergue al campesinado expulsado del campo representan una versión "pobre" de la morfología de la ciudad-jardín. Desde el punto de vista ecotérmico,

/el mesoclima

el mesoclima de la ciudad-jardín se aparta menos del de la ciudad clásica de lo que sus propugnadores se imaginaban. El hecho de que las edificaciones de la ciudad-jardín estén más distanciadas y más rodeadas en principio de verdor presenta en el orden biotérmico ventajas (mejor dispersión infrarroja, mejor convección húmeda, mejor ventilación) y desventajas (mayor insolación, mayor humedad ambiente, posibles inversiones térmicas nocturnas), pero no implica una transformación radical del mesoclima urbano. La disposición dispersa propia de este tipo urbano determina un costo más elevado de los servicios y un mayor consumo energético.

iv) La "ciudad radiante". El modelo de la "ciudad radiante", propuesto por Le Corbusier y propiciado por documentos de amplia difusión internacional, como la "Carta de Atenas", representó el intento más acabado de replanteamiento del hecho urbano por parte de las sociedades capitalistas avanzadas, lo cual no impidió que fuera acogido favorablemente por las sociedades que pretenden la construcción de un socialismo. En el plano habitacional, la ciudad radiante propugna la disposición de núcleos edificios de gran altura y densidad, salpicados en forma dispersa de un entorno que se intenta preservar al máximo en su estado "natural".

Dejando aparte sus consecuencias en otro orden de hechos (como, por ejemplo, el cambio en el patrón cultural que implica la destrucción de la vida urbana tal como se venía concibiendo), la ciudad radiante tiene notorias implicaciones ecotérmicas. Si bien no excluye la preocupación por la adaptación bioclimática de cada edificio aislado, la ciudad radiante renuncia de hecho a controlar los aspectos más desfavorables del mesoclima de la zona en la cual se ubica. Los espacios exteriores, tan cuidadosamente preservados, quedan expuestos a todas las inclemencias del clima local, agravadas a menudo por la turbulencia del aire generada por la propia disposición de los edificios. "Salir a la calle", en la ciudad radiante, es una experiencia que casi carece de sentido por partida doble: en primer lugar porque "la calle" tradicional dejó en este modelo urbano de existir, y también porque los espacios abiertos que la sustituyen pueden resultar particularmente inhóspitos.

La sucinta relación tipológica anterior se refiere más bien a aquellos tipos urbanos históricos que se relacionaron con elaboraciones teóricas explícitas. Pero existen otras tipologías que se institucionalizaron de facto a través de una lenta evolución, como simples expresiones de la cultura material de las sociedades que la generaron. En muchos casos estas últimas tipologías, resultado de lentos y repetidos procesos de prueba y error, presentan un mejor funcionamiento bioclimático que las ya reseñadas, por lo que su estudio ha despertado recientemente un fuerte interés.

El conjunto de las tipologías existentes, institucionalizadas por vía ideológica o por vía de facto, ofrece un amplio espectro de opciones al diseñador de los asentamientos, quien deberá constantemente someter este conjunto a su filtro crítico, ampliarlo y renovarlo mediante la investigación sistemática.

En algunos casos, se puede intentar el trasplante de un tipo generado históricamente en otro contexto cultural y geográfico. Es ésta una operación delicada, no exenta de riesgos y que exigirá normalmente una serie de medidas de transformación y adaptación. No hay ninguna razón, sin embargo, para excluirla a priori. No cabe duda, por ejemplo, de que los diseñadores en el trópico seco americano tendrán muchísimo que aprender del tipo urbano constituido por las tradicionales medinas árabes o de aquel que se concreta en los hipogeos que constituyen el habitat de algunas poblaciones en el norte del Sahara.

b) Estrategias en función del tipo climático global

Agotadas las posibilidades de intervención en el orden mesoclimático, los diseñadores se encuentran frente a un mesoclima previsible que constituye una variante más o menos estable de un tipo climático general. Con todas las salvedades ya mencionadas, relativas a la amplitud del margen de variación que implica el paso de un mesoclima a un conjunto concreto de microclimas, es posible, sin embargo, señalar algunas estrategias bioclimáticas globales para las acciones de diseño o pequeña escala. Estas estrategias, planteadas en función de los tipos climáticos generales, no deben considerarse recetas infalibles, sino simples y cuestionables guías para el ejercicio de la imaginación proyectual.

1) Climas cálidos y húmedos. La ventilación constituye en este caso el recurso más importante para lograr el confort biotérmico. Se hace imprescindible un profundo conocimiento de las brisas locales y de sus posibles variantes microclimáticas. En este contexto, el aprovechamiento de la brisa natural tiende a ser más efectivo que el de cualquier tiraje térmico que pudiera producirse.

La edificación será pues muy permeable al movimiento del aire, el cual se encauzará en los espacios interiores. Si se dedica la debida atención a las condiciones de entrada y salida del aire en cada recinto, es posible lograr que el recorrido interno afecte a las zonas bajas, directamente utilizadas por los usuarios. Las exigencias de ventilación cruzada pueden requerir una disposición en crujía simple. Para obtener los efectos deseados, es necesario cuidar el espaciamiento entre las edificaciones de tal modo que ninguna de ellas proyecte zonas de calma sobre las demás. Esta exigencia puede determinar una reducción en la densidad del asentamiento. Los espacios exteriores se diseñarán de manera que la corriente de aire que por ellos transcurra, a barlovento de cada edificación, no sufra un innecesario sobrecalentamiento que anularía su posible efecto benéfico.

Tradicionalmente, los espacios internos propios de este tipo climático son bastante altos; con frecuencia su altura supera los 3 m. La investigación reciente ha permitido comprobar que esta característica perjudica a la economía sin que contribuya sensiblemente a mejorar las condiciones bioclimáticas. Sin embargo, el ventilador de techo, en caso de que se adopte, pueda requerir un considerable incremento en la altura libre para garantizar como mínimo 2.20 m. entre las aspas y el pavimento.

Habitualmente se ha venido considerando, en climas cálidos y húmedos, que la construcción muy ligera es la única apropiada, en función de que la normalmente reducida oscilación diurna de temperatura no exige una gran inercia térmica como factor de corrección. Se está hoy cuestionando la validez indiscriminada de este principio; en algunos casos se ha conseguido que el enfriamiento radiante nocturno de un elemento de gran inercia térmica correctamente ubicado baste para reducir la TRM interna diurna, lográndose así algún alivio. Este recurso será tanto más válido cuanto mayor sea el número promedio de noches despejadas.

En todos los casos se debe procurar la máxima protección de los elementos constructivos respecto a la fuerte radiación solar directa que se puede presentar en los momentos de escasa nubosidad. Esta misma protección se hará extensiva a los espacios exteriores inmediatos a la construcción. Los recursos clásicos de las verandas, los grandes aleros, los pórticos cubiertos, pueden cubrir este objetivo sin perjudicar la penetración de la brisa; sirven además de elemento de protección frente a los frecuentes aguaceros, cuya intensidad se tomará en cuenta a la hora de decidir pendientes y desagües.

Es de desear que los acabados de las superficies expuestas directamente a la intemperie sean muy reflejantes. Este requerimiento es particularmente importante en el caso de las cubiertas, sobre las que incide la radiación solar directa o difusa. Presentan ventajas las cubiertas de doble hoja siempre que se ventile efectivamente la cámara de aire intermedia. La hoja más externa sirve para reducir drásticamente la radiación que recibe la segunda hoja; se consigue así limitar la temperatura del intradós del techo. En los espacios exteriores, la vegetación juega un papel muy favorable por la sombra que proporciona, pero deberá controlarse su frondosidad para que no impida el paso de la brisa.

Los lugares de la edificación donde se genera mayor cantidad de calor y humedad, (cocinas, por ejemplo) deben quedar correctamente ubicados y recibir mayor ventilación y un aislamiento especial. El diseñador tendrá en cuenta el alto IEC que normalmente padecerán en estas regiones los usuarios y que se traduce en la absoluta necesidad de controlar la producción de calor metabólico (es decir, la actividad física a desarrollar), procurando evitar disposiciones que requieran esfuerzos innecesarios.

Es delicado en estos climas el diseño de los huecos y tendrá sentido disponer una separación de funciones, para garantizar en cada una de ellas se cumpla a plena satisfacción.

En lo que a ventilación se refiere, debe recordarse un principio que contradice la creencia común: los huecos de ventilación a sotavento deben ser mayores que los de barlovento, siendo la salida del aire más delicada que la entrada. La protección contra insectos suele resolverse disponiendo mallas metálicas o de plástico. Esta solución presenta, sin embargo, serios inconvenientes, el principal de los cuales radica en la disminución considerable que experimenta la velocidad del aire cuando éste tiene que pasar a través de dichas mallas. Esta reducción oscila entre el 30% y el 70% y es mayor cuando la velocidad del aire es baja, cuando no sopla frontalmente al plano de la malla, o cuando ésta está sucia.

En lo que se refiere a la visión exterior a través de los huecos es útil recordar que el cielo, en estas zonas climáticas, suele presentar un brillo deslumbrante incluso cuando está cubierto.

ii) Climas cálidos y áridos. El aislamiento térmico constituye el elemento fundamental de diseño en las zonas cálidas y secas. La fuerte oscilación diurna de temperaturas, usual en estas zonas, se ve atemperada en el microclima interior por la gran inercia térmica de la construcción. Los elementos constructivos, de gran capacidad térmica, deben estar en condiciones de emitir un máximo de radiación infrarroja en horas nocturnas, cuando la temperatura ambiente es baja y el cielo, como de costumbre, está despejado. De día, es fundamental la protección contra la radiación solar directa. La disposición usual de las edificaciones es compacta, apretada. Se combina con espacios exteriores, públicos o privados, estrechos y resguardados, que adoptan la forma de callejuela, patio, etc., con posibilidades de cubrirse a bajo costo con lonas, por ejemplo. La baja humedad relativa del aire determina una alta capacidad evaporativa, que puede ser ampliamente aprovechada en el diseño para transformar el calor sensible en calor latente.

Las necesidades de ventilación son escasas y las posibilidades de introducir al interior aire fresco son también bastante limitadas. Normalmente bastará con un tiraje térmico bien diseñado para garantizar la aireación. Debe excluirse el viento, que normalmente será caliente y cargado de polvo. En estos climas, la vegetación será siempre bienvenida; además de suministrar sombra retendrá el suelo limitando la erosión eólica. Habrá, sin embargo, que seleccionar especies compatibles con las posibilidades existentes de riesgo.

Las cubiertas, pesadas y aislantes, se dispondrán preferiblemente en dos hojas, con ventilación del espacio intermedio. Suelen ser frecuentes los techos planos, que permiten su utilización como espacio habitable. En estos casos deberá recordarse que las precipitaciones, aunque anualmente escasas, pueden concentrarse bajo la forma de rápidos aguaceros.

Los huecos, debidamente protegidos contra la radiación directa, serán pequeños y abrirán preferiblemente a espacios resguardados (tales como patios), de donde puedan succionar aire más fresco que el correspondiente a las áreas despejadas. Será útil poder abrir al máximo los huecos por la noche, para acelerar el proceso de enfriamiento nocturno.

En las zonas cálidas secas costeras aumenta la humedad relativa del aire. Es conveniente captar mediante algún dispositivo la posible brisa marina.

iii) Climas compuestos y de altura. Los tipos climáticos compuestos y de altura presentan rasgos propios de los dos tipos anteriores, por lo que resulta imposible sugerir normas de validez universal. La estrategia de diseño a seguir en estos casos deberá tener en cuenta el carácter estacional de la variación climática. El diseño tendrá que adoptar una actitud ad-hoc, en función de las características concretas de cada caso. Históricamente se han presentado a veces soluciones dispendiosas pero eficaces: la construcción se divide en dos sectores, cada uno de los cuales se adapta climáticamente a una de las dos estaciones que se definen con mayor o menor claridad en el ciclo anual. Las actividades de los usuarios se desarrollan en un sector o en otro de la edificación, en función de la estación del año.

Otras soluciones más económicas se basan en una disposición propia del tipo climático cálido-seco, modificada para permitir una gran permeabilidad al aire en los períodos húmedos.

En los climas de altura deben tomarse precauciones adicionales para manejar favorablemente la insolación, que puede alcanzar una magnitud considerable.



