

CLIMA Y CONFORTABILIDAD HUMANA. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Felipe Fernández García*

INTRODUCCIÓN

El hombre, como los demás seres vivos ha de adaptarse a los límites impuestos por las condiciones climáticas y a las distintas sensaciones que su organismo ha de soportar. Sin embargo, a diferencia de los animales, plantas, etc., el hombre tiene la capacidad, no sólo de adaptarse a climas muy variados, sino también la de modificar las condiciones ambientales de su entorno mediante el vestido y la vivienda.

Desde antiguo ha sido consciente de esta influencia y todos los pueblos y todas las civilizaciones han mostrado especial interés en definir las condiciones más favorables para la salud y el bienestar de las personas, buscando emplazamientos favorables y diseñando sus casas de acuerdo con las características del medio.

El desarrollo tecnológico, sin embargo, ha favorecido que el hombre olvide como construir teniendo en cuenta la naturaleza y el clima. Los conocimientos arquitectónicos y urbanísticos, señala Konya (1981), se exportan como si fuesen objetos de consumo y los edificios modernos se parecen entre sí en todo el mundo, porque se han diseñado para aislarlos de los fenómenos naturales que se desarrollan en el exterior, confiando gran parte del trabajo a las instalaciones mecánicas.

El uso racional de los recursos se impone, y la adecuación de las construcciones al entorno es uno de los objetivos más actuales de la moderna arquitectura y planificación urbana. Esta adecuación solo es posible tras determinar y definir las condiciones óptimas de confort y bienestar para el hombre. El paso previo es definir el concepto de bienestar o confort y a partir de ahí, analizar los mecanismos que lo condicionan y las variables climáticas, fisiológicas y psíquicas que intervienen.

En las notas que siguen abordamos algunos de los aspectos mencionados y analizamos los índices más al uso para su evaluación.

I.- EL CONFORT CLIMÁTICO: DEFINICIÓN, MECANISMOS Y PROCESOS

. **Definición.** La confortabilidad puede ser definida como el conjunto de condiciones en las que los mecanismos de autorregulación son mínimos o como la zona delimitada por unos umbrales térmicos en la que el mayor número de personas manifiesten sentirse bien.

Según *la American Society of Heating Refrigeration and Air conditioning Engineers*, más conocida como **ASHRAE**, el confort es definido como aquellas condiciones de la mente, que expresan satisfacción del ambiente térmico.

*. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid

- GARMENDIA, J. (1974). "Determinación del bienestar climático humano. Aplicación a España". *Real Academia de Medicina de Salamanca*.
- KONYA, A. (1981). *Diseño en climas cálidos*, Madrid, Blume, 153 pp.
- LANDSBERG, H. (1972): *The assesment of human bioclimate*. Ginebra, W.M.O., nota técnica 331.
- NAVAJAS, P. (1983). *La arquitectura vernácula en el territorio de Madrid*. Madrid, Diputación-Area de urbanismos y Medio Ambiente, 390 pp.
- JIMÉNEZ ALVAREZ, E. (1984): *El clima de España y la arquitectura solar*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 2 vols.
- MATEOS CAÑIZAL, J. Y RODRÍGUEZ PUEBLA, C.(1985): *Precisiones sobre el binestar climático en el distrito universitario de Salamanca*. Madrid, INM.
- GONZÁLEZ, E. y otros. (1986): *Proyecto clima y arquitectura*. Méjico. Ed. Gili. 3 vols.
- RAMÓN, F. (1980): *Ropa, Sudor y arquitectura*. Madrid, Blume, 124 pp.

Para **Givoni** es la ausencia de irritación o malestar térmico. Este autor define unas zonas de bienestar térmico, cuya delimitación tienen un fundamento fisiológico y están determinadas por un conjunto de condiciones para las que los mecanismos termorreguladores se encuentran en un estado de mínima actividad. A partir de ellas, elabora su conocido diagrama o carta bioclimática para edificios, que analizaremos más adelante.

El concepto de confort, por tanto, admite varias definiciones, pero en todas se halla presente el concepto de equilibrio energético entre el cuerpo humano y su entorno.

La existencia de un equilibrio térmico, sin embargo, no necesariamente indica confortabilidad, puesto que puede alcanzarse bajo condiciones de malestar por efecto de los mecanismos autorreguladores. En efecto, el hombre, para garantizar su salud física, debe mantener la temperatura interna de su cuerpo dentro de unos límites bastante estrechos, independientemente de las variaciones de la temperatura del aire.

El cuerpo humano tiene internamente una temperatura que varía entre 36.5° y 37°C. El equilibrio térmico del cuerpo consiste en mantener la temperatura dentro de esos rangos: si la temperatura aumenta o disminuye puede provocar lesiones graves, de tal modo que entre 40 y 45 grados se producen complicaciones de circulación y por encima de 41-42 puede llegar al estado de coma o colapso total.

El cuerpo para mantener este balance realiza una serie de procesos por los cuales gana o pierde calor, según la siguiente ecuación:

$$O = M \pm R \pm \text{Conv} \pm \text{Cond} \pm E$$

Siendo: **M**, el calor producido por procesos meta-

bólicos; **R**, el intercambio de calor por radiación; **Conv**, el intercambio de calor por convección; **Cond**, el intercambio de calor por conducción y **E**, pérdidas de calor por evaporación.

Cuando el sumatorio es cero el cuerpo está en equilibrio y, si esto no ocurre, actúan un conjunto de mecanismos autorreguladores como el aumento en el flujo sanguíneo y dilatación de los vasos capilares, cuando las ganancias son superiores a las pérdidas, o disminuye el flujo sanguíneo, mediante la contracción de los vasos capilares, cuando el ambiente es más frío que el cuerpo; si esto es insuficiente, se producen contracciones o escalofríos que aumentan la producción de calor metabólico.

. **Producción de calor y mecanismos de autorregulación.** El intercambio con el exterior está controlado por tres factores: el **metabolismo**, que supone ganancias por la ingestión de alimentos y su combustión; el **intercambio térmico** entre el cuerpo y el ambiente que le rodea, por conducción, convección y radiación y las pérdidas por **evaporación** del agua de los pulmones o de la piel (sudoración).

-La energía producida por el metabolismo está directamente relacionada con la actividad desarrollada, ya que el proceso metabólico produce un exceso de energía al realizar un determinado trabajo, en proporciones mayores a las requeridas al disminuir la eficiencia del cuerpo. El exceso se transforma en calor, denominado calor metabólico. En reposo absoluto el gasto de energía es el mínimo necesario para mantener las funciones vegetativas y se denomina **metabolismo basal**. Pero incluso en esta situación el calor generado es del orden de 70 w/h (Cuadro 1).

Cuadro 1.

Relación entre las diferentes actividades y sus niveles metabólicos según Belding y Hatch.

actividad	energía (w)
durmiendo	75
sentado tranquilamente	120
trabajo ligero	
oficina	130-160
conduciendo	160-190
de pié trabajo ligero	160-190
Trabajo moderado	
sentado, movimiento intenso manos, tronco y piernas	190-230
de pié con algun desplazamiento	230-290
levantamiento y transporte	
moderado de pesos	290-400
Trabajo intenso	430-600

(Valores calculados para un hombre de 70 kg., 1.82 m² superficie de piel, 1.73 altura y actividad continuada. Cit. González, 1986, p. 44)

- El Intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente se produce por las diferencias de calor con el entorno, aunque la vestimenta desempeña un importante papel como factor de modificación. Existen tres procesos de intercambio que actúan simultáneamente: entre la ropa y el exterior, entre el cuerpo y la ropa y entre las partes descubiertas y el exterior; por ello, para un hombre desnudo la estimación del balance es más simple, ya que solo intervienen la temperatura de la superficie del

cuerpo, la temperatura y velocidad del aire y la temperatura radiante de las superficies que rodean al individuo.

La integración de la vestimenta en el proceso de intercambio se realiza mediante la definición de una unidad de aislamiento, denominada **clo**, cuyo valor es 0.6 m².°C/w. Experimentalmente se ha establecido la equivalencia entre diferentes tipos de vestimenta y esta unidad de aislamiento, tal y como aparecen en el cuadro 2.

Cuadro 2.
Equivalencia entre vestido y clo.

vestimenta	clo
desnudo	0.0
pantalón corto	0.1
Traje veraniego	0.5
Traje masculino de calle	1.0
Conjunto femenino de invierno	0.7-0.9
Traje masculino de invierno	2-2.5

- En relación a las pérdidas por evaporación, si se produce en los pulmones o en los poros todo el calor requerido es tomado del cuerpo; generalmente, la evaporación es muy rápida y se produce en la superficie de la piel o dentro de sus poros, por lo que la casi totalidad del calor latente de evaporación es tomado del interior del organismo, lo que determina un enfriamiento. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que si la cantidad de sudor es mayor que la evaporación, se forma líquido sobre la piel, lo que dificulta la transferencia de calor desde el cuerpo hacia la superficie y, de este modo, parte del calor necesario para la evaporación es tomado del aire en contacto con el cuerpo, reduciéndose el enfriamiento neto del mismo.

Ambos aspectos, rapidez y lugar donde se produce la evaporación, dependen de la relación entre cantidad de sudor evaporado (e) y la máxima capacidad evaporativa del aire (E_{max}). En la medida en que la relación e/E_{max} sea menor, la eficiencia del enfriamiento aumenta. El potencial evaporativo del aire depende, por tanto, del tipo de ropa, de la humedad del aire y de su velocidad y es tanto mayor cuanto menor es la humedad relativa y mayor la velocidad del viento.

II.- PRINCIPALES VARIABLES CLIMÁTICAS QUE INFLUYEN SOBRE EL CONFORT

La temperatura del aire es el factor que influye de manera más directa sobre el bienestar, además de ella intervienen la humedad, la velocidad del viento y la radiación:

. **La humedad** regula la evaporación, por lo que desempeña un importante papel en las altas temperaturas, en las que la sudoración es uno de los mecanismos más importantes de enfriamiento. Sin embargo existen unos límites extremos que pueden ser negativos: por debajo del 20% de humedad, aumenta el peligro de infección por la sequedad de las mucosas; con temperaturas bajas, el aire muy seco aumenta el disconfort y en situaciones cálidas, cuando la humedades sobrepasa el 60% y, sobre todo, el 80%, la sensación de calor aumenta, ya que se produce el sudor, pero no evaporación, dando lugar al clásico bochorno o calor húmedo, bastane más inconfortable que el calor seco (Cuadro 3).

Cuadro 3.-
Sensación térmica en función de la humedad relativa del aire.

Temp.	Humedad relativa en %					
	30	50	70	80	90	100
°C						
20	20	21.1	22.2	22.8	23.4	23.9
25	25	26.7	27.8	28.9	30.0	31.1
30	30	32.2	35.0	37.2	37.8	39.4
35	35	38.8	42.2	44.4	46.7	48.9
40	40	45.0	50.0			

(Fuente. Lansberg, 1972).

. **El movimiento del aire** aumenta la disipación de energía por evaporación o convección, siempre que la temperatura de la piel sea inferior a la del aire. No obstante, cuando las temperaturas son superiores a 40°C, el viento aumenta la sensación de calor;

. **La radiación:** algunos estudios recientes sugieren que es más significativa la temperatura radiante del entorno que la del aire. Se mide por el termómetro de esfera o de globo, consistente en un termómetro corriente de mercurio encerrado en una esfera de cobre de 15 cm de diámetro y pintada de negro mate; tras permanecer 15 minutos al sol, el termómetro marca un valor, que es superior al del aire si la radiación entrante es mayor que la saliente o menor a la del aire si las pérdidas son mayores.

Las relaciones numéricas existentes entre las distintas variables físicas que intervienen son, según Flach, 1981, las siguientes:

a.- **Flujo de calor interno** (Q_b) = $Q_{kl} + Q_{sh} + Q_{vh}$, siendo Q_{kl} , el intercambio por conducción y

convección; Q_{sh} , la emisión de onda larga y Q_{vh} evaporación (v), a través de la superficie de la piel (h).

- En el cálculo de cada una de estas variables intervienen la temperatura de la piel (t_h) y la del aire (t_i), así como el tamaño de la superficie (F_{kl}), según la siguiente relación:

$$Q_{kl} = \alpha \cdot (t_h - t_i) \cdot F_{kl}$$

$$Q_{sh} = \sigma \cdot e \cdot (T_h^4 - T_u^4) \cdot F_{sh}$$

$$Q_{vh} = \beta \cdot (e_h - e_i) \cdot F_{vh}$$

El tamaño de la superficie (F_{kl}) depende del peso (g) y de la altura (l) del individuo y se expresa en cm^2 :

$$F = g^{0.425} \cdot l^{0.725} \cdot 71.84.$$

- Asimismo α , β y σ , representan:

α , el coeficiente de transferencia de calor en $cal \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1} \cdot grado^{-1}$, que depende de la conductividad, densidad y velocidad del viento. El valor de este coeficiente, calculado con una presión de 760 mm., 30° de temperatura ambiente y 10°C de diferencia entre la piel y el aire es: $\alpha = 0.006$

para $v = 0$ m/sec; $\alpha = 0.020$ para $v = 1$ m/seg; $\alpha = 0.065$ para $v = 10$ m/seg. y $\alpha = 0.0034 \sqrt{t_h - t_a}$ con viento en calma.

Las variables, que intervienen en el cálculo de α son T_h , que es la temperatura de la piel, en °K y T_a , la de las superficies próximas, como por ejemplo, paredes o suelo.

σ es la constante de Stephan Boltzman;

β , un coeficiente de transferencia por evaporación, expresado en cal/cm²/min (mm Hg) y cuyo valor es $0.046 \sqrt{v}$, con viento y $0.013 \sqrt{v}$, con calma.

e_h , el coeficiente de emisividad de la piel (0.954) y

e_h y e_a la presión del vapor en la piel y el ambiente.

Cada uno de estos mecanismos contribuye a la pérdida en la siguiente proporción: Q_{kl} 27%; Q_{sh} 43%; Q_{vh} 18% y Q_{vl} 12%.

III.- METODOS DE ANALISIS DEL CONFORT CLIMATICO: ÍNDICES Y DIAGRAMAS BIOCLIMATICOS

Los primeros estudios relacionados con el bienestar climático se iniciaron a finales del siglo XIX con el fin de establecer unos criterios adecuados para el trabajo en las industrias mineras y textiles, en las que se producían frecuentes accidentes y enfermedades a consecuencia del calor y la humedad.

En 1890, Vincent publicó una sencilla fórmula en la que hacía intervenir la temperatura de la piel y la velocidad del viento. A comienzos de nuestro siglo surgen una serie de instrumentos dirigidos a medir "el poder refrigerante del aire" como el *Kattatermómetro* de Hill (1923), el *frigorigómetro* de Thilenius y Dorno's (1925) y el

frigorigrafo de Pfeleiderer y Buettner's (1935), entre otros. A partir de los años 50 se realizaron gran cantidad de experimentos en lugares especiales, en los que era posible controlar las condiciones climáticas. Se llega así a considerar el confort climático o sensación térmica como un proceso subjetivo en el que intervienen aspectos fisiológicos, pero también psicológicos.

El objetivo final de las investigaciones en el campo bioclimatológico es el de cuantificar las sensaciones térmicas y establecer escalas, que permitan determinar las respuestas de la persona ante unas condiciones climáticas específicas.

Todos los investigadores utilizan una metodología similar, consistente en el análisis combinado de las diversas variables climáticas, que condicionan la sensación térmica, aunque varía su número y la importancia dada a cada una de ellas.

Los resultados se expresan en forma de índices o mediante la definición de áreas de confort, en los denominados diagramas o cartas bioclimáticas.

Los índices de confort

Los Indices de confort son muy numerosos, pero los tres de uso más común son: el de la temperatura efectiva, el de Siple y Passel y el de Hill.

1.- **La temperatura efectiva** se define como la temperatura del termómetro seco que para una humedad del 50% haría sudar a una persona con la misma intensidad que en las condiciones ambientales dadas (González, 1986). Es uno de los índices de mayor aceptación, ya que fue adoptado en su origen por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Ventilación (ASHVE o ASHRAE, en las siglas inglesas).

En la formulación original el índice combina la temperatura del termómetro seco y la humedad relativa. Más tarde se incluyó velocidad del viento y en 1947, Bedford introdujo la **temperatura radiante** obtenida con el termómetro de globo

o de esfera, ya mencionado: el resultado lo llamó **temperatura efectiva corregida**.

El cálculo de este índice es relativamente sencillo mediante la utilización del nomograma representado en el gráfico 1. Los datos necesarios

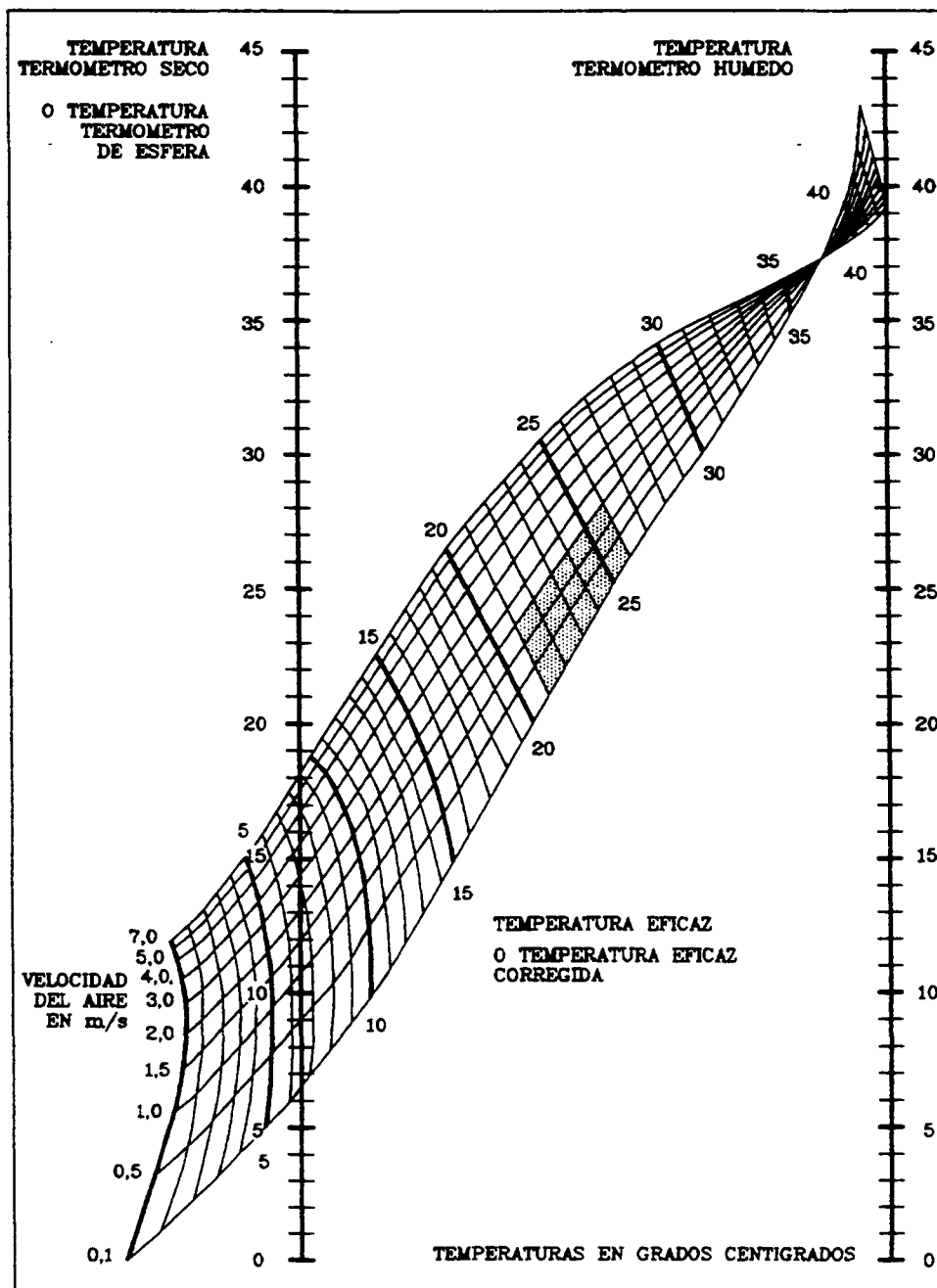


Figura 1. Nomograma para el cálculo de la temperatura eficaz (TE), según los criterios utilizados por ASHRAE (cit. Fariñas, 1990)

son la temperatura del termómetro seco, la del húmedo y la velocidad del viento. La temperatura efectiva es la correspondiente al punto en que se corta la línea que une ambas temperaturas con la correspondiente a la velocidad del aire, representada en el nomograma. En él que reproducimos, tomado de Fariña (1990), se representa la temperatura efectiva (TE) correspondiente a una temperatura del termómetro húmedo de 20°C, del termómetro seco de 25°C y una velocidad del viento 3 m/s.

Cuando solo contamos con datos de la temperatura del termómetro seco y la humedad relativa, la correspondiente al termómetro húmedo la podemos determinar mediante el uso del diagrama psicométrico.

Las sensaciones del cuerpo a los distintos valores de temperatura efectiva son las que aparecen en el cuadro 4.

2.- El índice de enfriamiento eólico (wind chill) de Siple y Passel. En 1945 ambos autores determinaron experimentalmente el enfriamiento que se producía en un cilindro de plástico lleno de agua, a diferentes velocidades del viento y bajo distintas temperaturas.

Al aplicarlo al cuerpo humano la expresión que relaciona estas variables es:

$$w=(\sqrt{100v+10.45-v})*(33-t)$$

w, representa el poder refrigerante del aire expresado en kcal.m₂.h₋₁;

v, es la velocidad del viento en m/s y

t, es la temperatura del aire en °C.

En 1948, Court modificó la versión original. La nueva expresión es:

$$w=(10.9\sqrt{v+9}-v)(33-t)$$

La equivalencia entre los distintos valores del índice y las sensaciones observadas aparecen en el cuadro 5:

- Los comprendidos entre 300 y 599 son clasificados como relajantes y la notación correspondiente es 0, dado que el estrés cutáneo es nulo y no entra en funcionamiento ningún mecanismo de autorregulación;

-Por encima de 600 se requiere calor, por ello se produce un proceso de termogénesis lo que implica condiciones hipertónicas y el valor del índice es positivo y creciente (+1 y +2);

-Por debajo de 300 se desencadena la termolisis, las condiciones son hipótónicas y el bienestar sólo se alcanzaría mediante la cesión de calor.

Cuadro 4.
Temperatura efectiva y sensaciones térmicas.

Temperatura efectiva	sensación		Respuesta física
	térmica	confort	
40°C	muy caliente	muy incómodo	problemas de regulación
35°C	caliente		aumento tensión, por sudoración y aumento de flujo sanguíneo
	templado		regulación normal por sudoración y cambio vascular
30°C			regulación vascular
25°C	neutral	cómodo	
	ligeramente fresco		aumento pérdidas de calor seco
20°C		ligeramente incómodo	
	fresco		vasocontracción en manos y piés, estremecimiento.
15°C	frio	incómodo	
10°C	muy frio		

Cuadro 5
Poder refrigerante del viento y sensaciones de confort segun Siple y Passel.

w	notación	confortabilidad
0-149	-2	Hipotónico
150-299	-1	Hipotónico
300-599	0	Confortable
600-899	+1	Hipertónico
900-1999	+2	Hipertónico

Entre otros estudios, destacamos el empleo de este índice para la regionalización del confort en la región central de la Península (Alonso, Muñoz y otros, 1985) y la evaluación de la confortabilidad en zonas urbanas y rurales (Arroyo y Fernández García, 1991).

3.- El Índice de Hill. A partir de las observaciones realizadas con el katatermómetro, Hill propuso un índice en el que el media la intensidad o poder de enfriamiento del aire expresado como la velocidad de pérdida de calor por unidad de superficie del cuerpo.

La formulación original de Hill se concreta en la siguiente expresión:

$$H = (a + bv_n)(tc-tw)$$

H es la intensidad de enfriamiento, en $\text{mcal/cm}^2/\text{s}$; **a** y **b** son coeficientes empíricos, dependientes de los procesos de difusión, transferencia de calor y características físicas y químicas del aire; **v** es la velocidad del viento en m/s ; **n**, un coeficiente empírico, cuyo valor es 0.60 y **tc** y **tw**, las temperaturas del cuerpo y la del termómetro húmedo, expresadas en $^{\circ}\text{C}$.

Índice de Hill adaptado a la Península Ibérica. Los valores del índice han sido posteriormente modificados y varían según autores (Flach, 1981).

Para nosotros la versión más interesante es la aplicada a la Península Ibérica, primero por

Garmendia (1974) y posteriormente por Mateos Cañizal y Rodríguez Puebla (1985).

Los autores mencionados introducen dos modificaciones importantes a la versión original:

-La primera afecta al coeficiente **n** y tiene por objeto evaluar el factor temperatura en el poder refrigerante del aire. La formulación, según la nueva propuesta es:

$n = 0.60e^{-0.01t}$, en la que **t** es la temperatura del aire.

El índice de Hill responde a la siguiente ecuación:

$$H=(0.9311+0.0295v^{0.60e^{-0.01t}})*(tc-tw)$$

H está expresado en hWm_2 y la escala de sensaciones térmicas es la del cuadro 6.

-La segunda modificación consiste en la conversión del poder refrigerante del viento en valores de temperatura y la definición de una escala de sensaciones expresada en $^{\circ}\text{C}$.

De acuerdo con lo anterior, el procedimiento de cálculo contempla tres fases:

a.- Obtención de la temperatura aerodinámica (**ta**), independiente de la humedad;

b.- El cálculo de la temperatura efectiva (**tb**) o índice de bienestar, en la que se incluyendo en efecto de la humedad. Para ello utiliza la temperatura aerodinámica y la temperatura del termómetro húmedo (**tw**).

c.- Creación de una escala de sensaciones de bienestar, tomando temperatura de referencia la del cuerpo (36.5°C).

Cuadro 6.
Escala de sensaciones térmica, según los valores de H, modificado
por Mateos Cañizal y Rodríguez Puebla (1985).

sensación	abreviatura	H(hW.m ₂)
Muy frío	mF	$H \geq 27.2$
Frío	F	$24.5 \leq H < 27.2$
Fresco	f	$20.0 \leq H < 24.5$
Suave	s	$16.0 \leq H < 20.0$
Caliente	c	$12.3 \leq H < 16.0$
Muy caliente	mc	$8.8 \leq H < 12.3$
Bochorno	b	$H < 8.8$

a.- *La temperatura aerodinámica se define como la temperatura que combinada con un viento constante, al que denominan de referencia (v_r) produce el mismo enfriamiento que la temperatura y viento medidos en un lugar y momento determinado.*

El viento de referencia es la velocidad relativa a una persona andando, estando el aire en calma. Su valor es el equivalente a 180 km/día para la altura normal de 10 metros en la que se realizan las mediciones en las estaciones meteorológicas.

La temperatura aerodinámica resulta de la siguiente expresión:

$$t_a = t_c - \tau(t_c - t_a)$$

en la que

$$\tau = \frac{0.9311 + 0.0295v^n}{0.9311 + 0.0295v_r^n}$$

si el viento medido es igual o menor al viento de referencia ($v \leq v_r$), la temperatura aerodinámica es igual a la del medio ($t_a = t$); si es mayor que el de referencia ($v > v_r$), es inferior a la observada ($t_a < t$).

b.- *El cálculo de la temperatura efectiva o índice de bienestar (t_b), se realiza a partir de la temperatura aerodinámica (t_a) y la temperatura del termómetro húmedo (t_w), según la siguiente expresión:*

$$T_b = \frac{t_a + t_w}{2}$$

c.- *Las escalas de confortabilidad se obtienen restando a la temperatura del cuerpo (36.5°C), los valores de H equivalentes al enfriamiento que se originaría con el viento de referencia:*

$$T_b = 36.5 - \frac{H}{0.9311 + 0.0295v_r^n}$$

La Escala de sensaciones en función del índice de bienestar climático es la siguiente:

sensación	abreviatura	tb
Muy frío	mF	$tb \leq -5$
Frío	F	$-5 < tb \leq 1$
Fresco	f	$1 < tb \leq 6$
Suave	s	$6 < tb \leq 12$
Caliente	c	$12 < tb \leq 18$
Muy caliente	mc	$18 < tb \leq 24$
Bochorno	b	$tb > 24$

En el gráfico 2 se pueden observar los resultados obtenidos al aplicar este índice a diferentes estaciones urbanas y rurales en Madrid. En él se representan los días de cada estación y a diferentes horas, clasificados según la escala que acabamos de exponer.

Diagramas bioclimáticos

Los diagramas integran en un mismo gráfico dos o más variables, en relación a las cuales se establecen unas zonas de confort, definidas por unos límites de temperatura, de humedad o de viento.

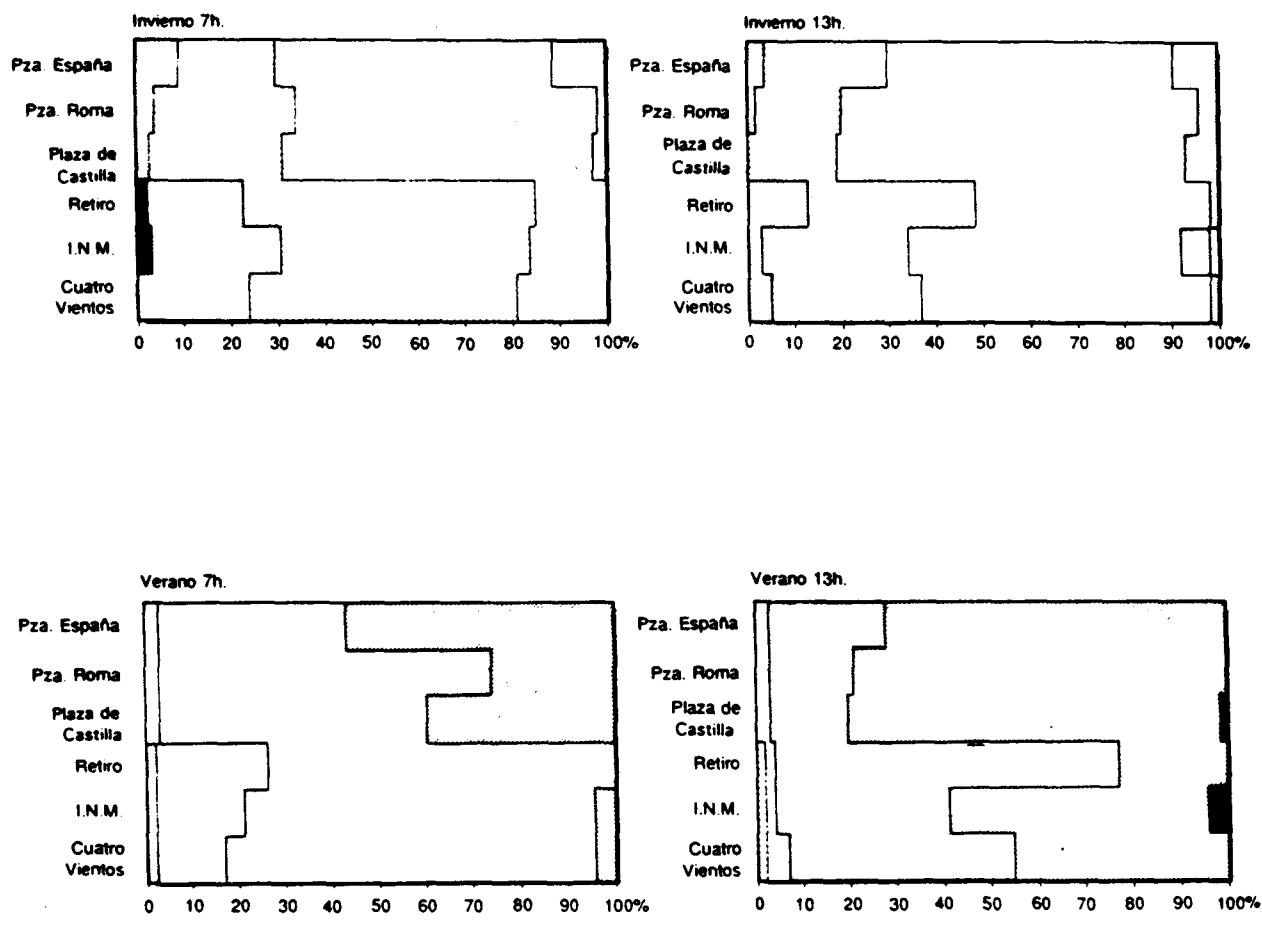


Figura 2. Frecuencia de días clasificados según el índice de Hill en diversas estaciones de Madrid. (Arroyo y Fernández García, 1990)

Dos son los diagramas o cartas bioclimáticas más utilizadas en los trabajos de diseño arquitectónico y en urbanismo: la de Olgay y la de Givoni. La primera permite determinar las características climáticas de espacios abiertos y es de gran utilidad para la elección del emplazamiento y orientación de los edificios; la de Givoni está diseñada para determinar las condiciones microclimáticas del interior de los edificios, lo que permite evaluar las necesidades energéticas de calentamiento o ventilación necesarias para mantener unas condiciones adecuadas de confort.

Ambos modelos parten de la idea de una **arquitectura bioclimática**, cuyo objetivo es la realización de edificaciones adaptadas a las condiciones climáticas del medio y que proporcionen al usuario ambientes térmicamente agradables utilizando para ello la propia edificación y sus elementos constructivos con un consumo mínimo de energía. Esta concepción bioclimática permite integrar la forma, la materia y la energía del lugar, creando una arquitectura más propia de cada región (González, 1986).

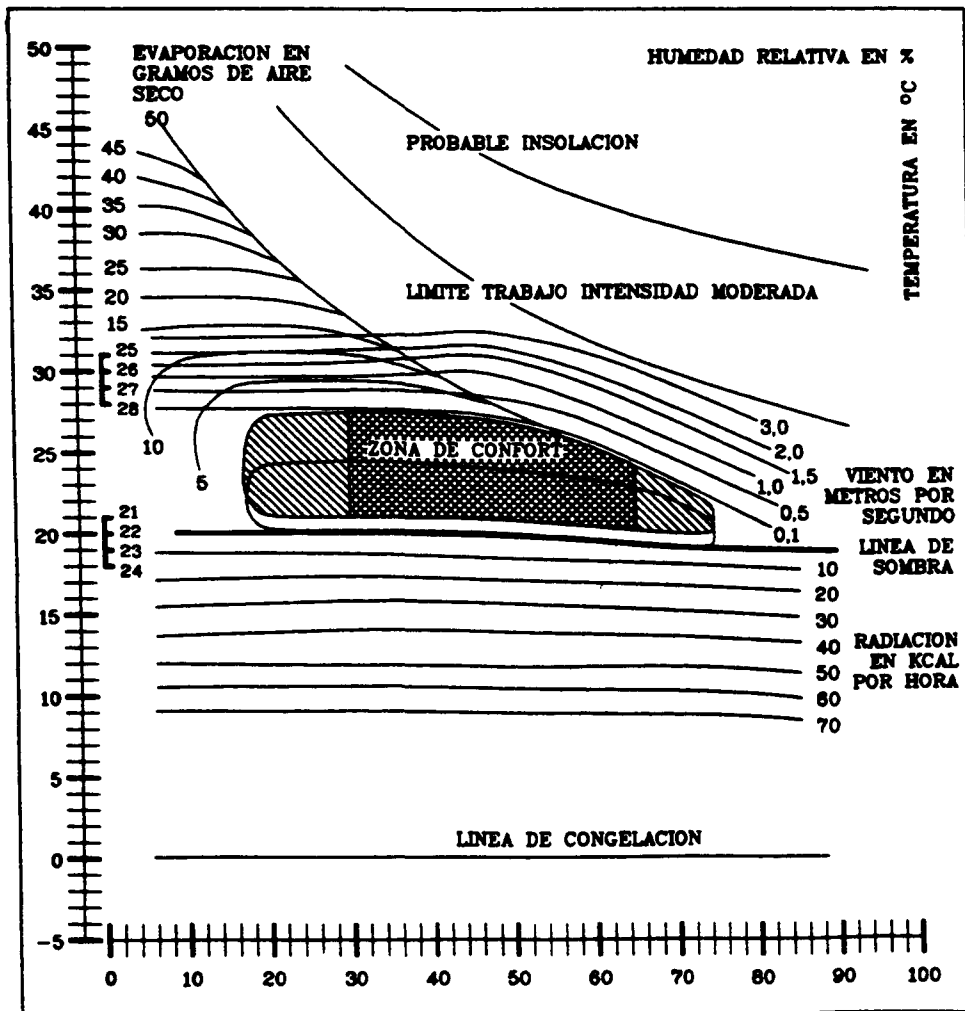


Figura 3. Diagrama bioclimático de Olgay (Reproducido de Fariña, 1990).

1.- **El diagrama bioclimático de Olgyay.** Los hermanos Olgyay desarrollaron su **carta bioclimática (The bioclimatic chart)** en la que se integran las dos variables fundamentales para el bienestar como es la temperatura y humedad, y se añaden otras como la radiación, la velocidad del viento y la evaporación como medidas correctoras.

La forma del diagrama aparece en el gráfico 3 y en él se pueden distinguir:

- *Una zona de confort* para una persona en reposo y a la sombra. Está delimitada por la temperatura del aire, que aparece en ordenadas y la humedad relativa del aire en %, en abscisas.

- *Una serie de líneas*, que representan las medidas correctoras que es preciso realizar en el caso de que las condiciones de temperatura y humedad salgan fuera de la zona de confort. Estas líneas son:

- La radiación expresada en Kcal/hora, se sitúa en el límite inferior de la zona de confort y con ella se dibuja la **línea de sombra** o límite a partir del cual el confort se pierde como consecuencia del frío.

- El viento en m/s, se representa por una líneas crecientes con la temperatura y decrecientes con la humedad.

- La línea de congelación, aparece en el borde inferior del gráfico e indica la temperatura mínima soportable antes de que aparezcan problemas de congelación en los miembros.

- La línea de insolación, en la parte superior, indica posibles desmayos por la combinación de altas temperaturas y elevada humedad.

El empleo del gráfico es muy simple y se pueden utilizar las temperaturas mensuales, medias o extremas, o los valores diarios.

Los puntos situados por debajo de la zona de confort indican periodos infracalentados por lo que

es necesaria la radiación solar para alcanzar la confortabilidad.

Los puntos situados por encima indican periodos sobrecalentados y el bienestar requiere del concurso de la ventilación.

2.- **El digrama de Givoni.** Givoni en su **diagrama bioclimático para edificios (Building bioclimatic chart)** introduce como variable el efecto de la propia edificación sobre el ambiente interno: El edificio se interpone entre las condiciones exteriores y las interiores y el objetivo fundamental de la carta bioclimática consiste en utilizar unos materiales y una estructura constructiva, cuya respuesta ante unas determinadas condiciones exteriores permita crear un ambiente interior comprendido dentro de la zona de bienestar térmico.

La carta se construye sobre un diagrama psicométrico y en ella se distinguen una serie de zonas características (gráfico 4):

- . *Una zona de bienestar térmico* delimitada a partir de la temperatura del termómetro seco y la humedad relativa, sin tener en cuenta otros factores.

- . *Zona de bienestar ampliada* por la acción de otros factores adicionales:

- Hacia la derecha la zona de bienestar puede ampliar en función de la **masa térmica del edificio**, representada por los tipos de materiales de la construcción; **el enfriamiento evaporativo**, que se produce cuando una corriente de aire seco y cálido pasa sobre una superficie de agua, parte de a cual se evapora produciendo un doble efecto positivo: descenso de la temperatura por la energía utilizada en el proceso de evaporación y aumento de la humedad ambiental.

Fuera de estos límites y hacia la derecha del gráfico, solo se pueden conseguir las condiciones adecuadas con sistemas mecánicos de ventilación y deshumificación:

- Hacia la izquierda del gráfico la zona de confort se extiende siempre que se produzca calentamiento, que puede ser **calentamiento pasivo**, es decir utilizando la radiación solar directa, durante el día, o el calor almacenado en acumuladores, durante la noche y **calentamiento mecánico**, mediante el uso de sistemas convencionales de calefacción. Como ocurre con la carta de Olgyay, la utilidad del diagrama es indiscutible, sin embargo el

problema consiste, primero en determinar los límites de confort, bastante diferentes según autores y zonas (cuadro 7) y, en segundo lugar, utilizar los datos adecuados de temperatura y humedad, que deberían ser horarios o, al menos representativos de los distintos ambientes que se producen a lo largo del día, sobre todo en climas tan contrastados como los del interior de la Península.

DIAGRAMA DE CONSTRUCCION BIOCLIMATICA

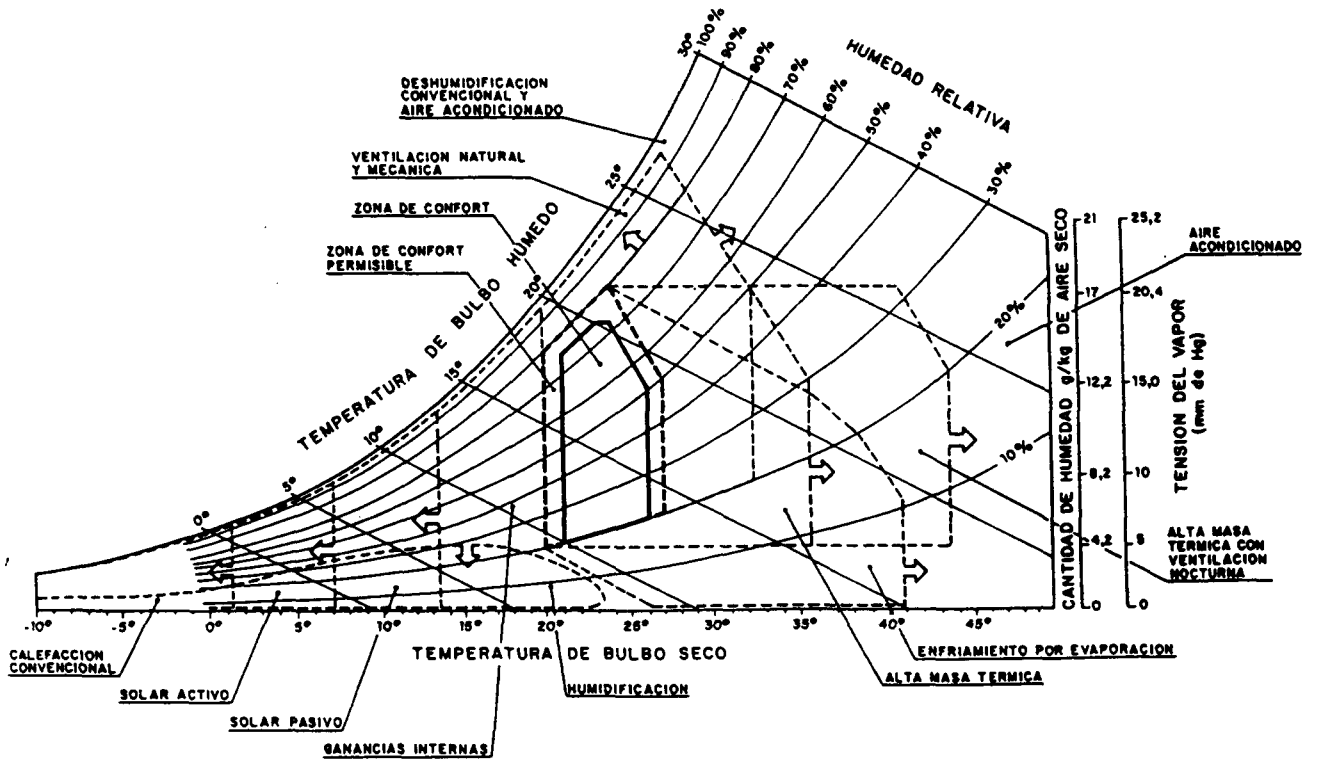


Figura 4. Diagrama bioclimático para edificios de Givoni (reproducido de Jiménez Alvarez, 1984).

Cuadro 7.
Límites de temperatura y humedad para la zona de confort
en el diagrama psicométrico, según diversos autores.

Autores	temperatura	humedad	
Givoni	21°C/26°C	5/17 mmhg.	
Olgyay	23.9/29.5	20%/75%	tropicos
ASHRAE	22.2/26.6	4 mmhg	
	21.6/25	14 mm hg	
Yaglou	18.8/23.8	30%/79%	USA
Venezuela(*)	22°C	27%/25%	límite inferior
	29°C	20%/40%	límite superior

(Fuente: González y otros, 1986).

IV.- CONSIDERACIONES FINALES

La utilización de estos índices es una herramienta de gran utilidad y debería ser incorporada a los estudios climáticos regionales, a pesar de las dificultades derivadas de la escasez de información de muchos de los parámetros requeridos para su elaboración.

El número cada vez mayor de estudios dedicados al clima de las áreas urbanas es, sin lugar a dudas, un factor favorable para el empleo generalizado de estos índices, que, en definitiva, permiten evaluar un aspecto del clima de gran utilidad para la planificación y el uso racional de los espacios habitados.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, J. MUÑOZ, J. y otros (1985): "Clima y confort en la región central (castilla la Mancha y Madrid). Almería, *Paralelo 37*, pp. 33-58.
- ARROYO, F. Y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1991): *Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*. Madrid, Ediciones Universidad Autónoma, 109 pp.
- BESANÇENOT, J.P.(1990): *Climat et Tourisme*. Paris, Masson, 223 pp.
- BESANÇENOT, J.P.(1974). "Premières données sur les stress bioclimatiques moyens en France". *Annales de Géographie*, pp. 497-530.
- FARIÑA TOJO, J. (1990). *Clima, territorio y urbanismo*. Madrid, E.T.S. de Arquitectura, 378 pp.
- FLACH, E. (1981): "Human Bioclimatology" en *World Survey of Climatology*, Landsberg, ed. Amsterdam-Oxford-N. York, Elsevier Scient. Publi. Com., T. 3, pp. 1-187.