

Ajuste de escalas de sensación térmica para Xalapa, Veracruz, México

Dr. Juan Cervantes Pérez¹
Dr. Víctor Luis Barradas Miranda²

RESUMEN

La determinación de una zona de confort es un objetivo de la bioclimatología humana. El desarrollo manual, perceptivo e intelectual del hombre depende de la condición térmica que experimente. Los índices térmicos han sido desarrollados para zonas y grupos étnicos específicos del planeta, por lo que en este trabajo se presenta una propuesta de adecuación de los índices Temperatura Efectiva (TE) y *Wind-Chill* así como la estandarización de sus escalas de sensación térmica para la ciudad de Xalapa, Ver. La temperatura fue la variable a través de la cual se realizó este proceso y los resultados obtenidos fueron satisfactorios al mostrar sensaciones térmicas muy similares ambos índices en dos meses contrastantes. La aplicación de este tipo de información incluye a la arquitectura y a la medicina, entre otras especialidades.

ABSTRACT

An important aim of human bioclimatology is the determination of comfort zones since human developing depends on the experimented thermal conditions imposed by the environment. For this purpose series of thermal indexes has been elab-

Palabras clave: Bioclimatología, índices térmicos, sensación térmica, confort térmico, Xalapa, Ver.

Key words: *Bioclimatology, thermal indexes, thermal sensation, thermal comfort, Xalapa, Ver.*

Recibido: 29 de julio de 2009, aceptado: 21 de septiembre de 2009

¹ Centro de Ciencias de la Tierra y Licenciatura en Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana, jcervantes@uv.mx.

² Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, vbarrada@miranda.ecologia.unam.mx.

borated for specific regions and ethnical groups; therefore, the main objective of this paper is the proposal of the modification of two thermal indexes: Effective Temperature and Wind-Chill. This modification was made by standardizing the thermal sensation scales for the city of Xalapa, Ver. Air temperature was the main variable taken into account for the development of this modification. Results were satisfactory in view of the fact that thermal sensation scales for both indexes were very similar after standardization in at least two contrasting analyzed months. This resulting information can be useful, for example in architectural design and medical care among other subjects.

INTRODUCCIÓN

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992) define a la **Bioclimatología** como la ciencia que estudia la influencia ejercida por el clima sobre los organismos vivos. En consecuencia, la **Bioclimatología Humana** estudia la influencia del clima sobre los seres humanos. Uno de los grandes objetivos de la bioclimatología humana es la determinación de un intervalo o zona de bienestar térmico (o, como ha sido adaptado del francés: *confort*) humano.

Entre las razones para determinar las condiciones de confort térmico se encuentran las relativas al desarrollo de actividades físicas intensas (Tudela, 1982), así como al reconocimiento de que el desempeño intelectual, manual y perceptivo del ser humano es, en general, mayor cuando él se encuentra en confort térmico con sus alrededores (Fanger, 1970).

La definición de **sensación térmica** está lejos de ser fácil, y en ausencia de un criterio objetivo,

las sensaciones subjetivas que resultan del estímulo térmico han sido adoptadas como medidas de la calidad térmica del ambiente. Así, las sensaciones térmicas se centran alrededor de dos "cantidades" opuestas: calor y frío, cada una de ellas con diferentes intensidades; por ejemplo: los términos agradable (confortable), caluroso y muy caluroso por un lado, y agradable-fresco-frío, por otro, son bien conocidos. Por ello, las sensaciones térmicas pueden ser englobadas en dos categorías simples: confort y malestar.

Para que un ser humano se encuentre totalmente confortable intervienen muchos factores como los físicos (temperatura, humedad, viento, etc.), fisiológicos (edad, sexo, salud, etc.), emocionales (tristeza, alegría, etc.), sociales (moda en el vestido y cabello, etc.) y varios más. Sin embargo, si se supone una persona joven común, que viste apropiadamente, que se encuentra sana física y mentalmente, etc., de tal forma que la sensación de confort es causada únicamente por las condiciones térmicas ambientales, entonces se puede decir que el confort para esa persona es la condición mental que expresa satisfacción con el medio que le rodea (Fanger, 1970).

Por otra parte, los elementos meteorológicos no actúan de manera aislada, la atmósfera actúa como un todo sobre el organismo humano. Se ha reconocido que las variables intrínsecas al organismo y meteorológicas más importantes que afectan la condición de confort son (Fanger, 1970 y Landsberg, 1972): nivel de actividad (producción de calor por el cuerpo humano), resistencia térmica de la ropa, temperatura del aire, flujos de energía (calor) intercambiados, rapidez relativa del viento y presión de vapor del agua (humedad). Henstschel (1986) propone que el grado de importancia de las variables meteorológicas depende también de la zona climática donde pretende realizarse el estudio bioclimático. En los trópicos, por ejemplo, la temperatura del aire y la humedad, de acuerdo a ese autor, son las variables predominantes. Es evidente que el confort térmico puede ser alcanzado por muchas combinaciones de las variables señaladas; de tal forma que un **índice de confort, índice térmico o índice bioclimático**, es un método que permite la estimación combinada de los elementos atmosféricos sobre el cuerpo humano (Givoni, 1974).

Con base en las variables utilizadas, Taesler (1986) identifica cuatro líneas de investigación re-

lativas a los índices térmicos: **la simulación física**, en la cual se utilizan "cuerpos" instrumentados para medir los efectos combinados de las variables atmosféricas sobre el cuerpo humano; **el modelamiento matemático**, el cual calcula índices térmicos correlacionados a sensaciones térmicas o a reacciones fisiológicas y simula el balance de calor en el cuerpo; **los estudios experimentales**, que usan objetivamente pruebas de desempeño así como votos subjetivos en condiciones de campo o en cámaras climáticas controladas; y **los estudios epidemiológicos**, mismos que parten de métodos estadísticos para establecer posibles relaciones entre las condiciones ambientales y la ocurrencia de diversas enfermedades. Morgan y Baskett (1974) identifican dos enfoques en los estudios bioclimáticos: el **sintético o empírico**, que combina diversas variables meteorológicas para expresar el confort térmico, y el **analítico**, el cual explica las bases físicas del confort térmico examinando los intercambios de energía entre el ser humano y su ambiente.

En general, los trabajos sobre evaluación bioclimática en el país han sido realizados con base en los índices empíricos que, de acuerdo a Morgan y Baskett (1974) son producto de la combinación de dos o más variables meteorológicas a través de expresiones matemáticas sencillas. Este tipo de índices, de acuerdo a Taesler (1986), se particularizan a condiciones, sitios y aún grupos étnicos (en particular, actividad sedentaria, latitudes medias y blancos). Si bien los índices que consideran los mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo humano y sus alrededores para evaluar el bioclima son exitosos y de validez universal, ya que son producto de la aplicación de la primera ley de la termodinámica, su aplicación se dificulta debido al tipo de información requerida en sus cálculos.

Como se ha comentado, debido a la particularización de sitios y grupos de los índices empíricos, el objetivo de este trabajo es mostrar un ajuste de las escalas de sensación térmica de los índices de sensación térmica empíricos Temperatura Efectiva (TE) y *Wind-Chill* (K), para la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, como un ejemplo de lo que se puede hacer para otras ciudades del país, pues la aclimatación al sitio de residencia juega un papel importante en las sensaciones térmicas experimentadas. Los resultados de este tipo de trabajos pueden ser aplicados en ramas como la arquitectura bioclimática y planeación urbana, entre otras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los índices TE y K propuestos por Missenard (1937) y Sipple y Passel (1945), respectivamente, se calculan con las siguientes relaciones:

$$TE = T - 0.4(T-10)(1-HR/100) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$K = (10 \sqrt{v} + 10.45 - v)(33-T) \quad [\text{KCal/m}^2]$$

donde T: temperatura del aire [$^{\circ}\text{C}$]; HR: humedad relativa del aire [%] y v es la rapidez del viento [m/s].

En la **Tabla 1** se muestran escalas de sensaciones térmicas asociadas a estos índices, donde se destacan dos aspectos: los índices fueron generados para latitudes medias y altas, como es el caso de K, y las escalas de sensaciones térmicas no son correspondientes ni simétricas alrededor del confort, además, en el caso de K, mientras mayor sea el valor, mayor será la sensación térmica de frío asociada. Bajo esta perspectiva, se plantea la siguiente cuestión: ¿Cómo obtener una escala de sensaciones térmicas para personas de latitudes tropicales y que a la vez, permita comparar dichos índices? Para resolver la cuestión planteada se procedió de la siguiente manera: se obtuvieron los datos meteorológicos horarios del año 1999 del Observatorio Meteorológico de la ciudad de Xalapa, Ver., la cual se ubica a los 19.5° lat N y 96.5° long W, a una altitud de 1460 msnm, y posee un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano. Se calcularon los índices TE y K horarios para los meses de enero, abril, julio y octubre. Entonces se obtuvieron los

índices de correlación entre los índices y las variables utilizadas para calcular dichos índices (T, HR y v). Puesto que la T fue la variable que mostró mayor correlación con los índices, se utilizó el concepto de *termopreferendum*, el cual indica la temperatura preferente de las personas **acclimatadas** al sitio del cual se desea calcular los intervalos de sensación térmica. El *termopreferendum* se calculó con la siguiente expresión (Auliciems, 1992):

$$T_p = 0.31 T_m + 17.6$$

donde T_p es el *termopreferendum* y T_m es la temperatura media mensual, ambos en $^{\circ}\text{C}$. En este punto, es importante señalar que la temperatura media mensual se obtiene de las **Normales Climatológicas**, valor representativo del sitio en un periodo de tiempo relativamente largo.

Si bien el *termopreferendum* da un valor de temperatura preferente asociada en este caso, como el punto central del confort, existe un pequeño rango en el cual se sigue manteniendo. Para determinar ese rango, se aplicó el método propuesto por Wakely (1978), que relaciona la amplitud de la zona de confort con la oscilación térmica media anual (mientras mayor sea la oscilación, más amplia es la zona de confort).

Por otra parte, la escala de sensaciones térmicas de la ASHRAE (1966) es una escala que considera siete sensaciones térmicas centradas alrededor del confort basada en la amplitud de la zona de confort. Esta escala se ocupó para

Tabla 1. Escalas de sensaciones térmicas asociadas a TE (tomada de Hetschell, 1986) y K (tomada de Terjung, 1966)

Rangos de la TE	Sensación térmica	Rangos de la K	Sensación térmica
>30	Calor pesado		
24 a 30	Calor moderado		
18 a 24	Calor placentero	< 200	Caluroso
12 a 18	Placentero	200 a 300	Confortable
6 a 12	Fresco	300 a 600	Fresco
0 a 6	Muy fresco	600 a 800	Relente
- 6 a 0	Frío ligero	800 a 1000	Frío
-12 a -6	Frío	1000 a 1200	Muy frío
-18 a -12	Muy frío	1200 a 1400	Frío mordaz
-24 a -18	Frío intenso	> 1400	Congelación
< -24	Peligro de congelación		

aplicarla a la estandarización de los índices y poder compararlos.

RESULTADOS

En la **Tabla 2** se muestran los coeficientes de correlación entre los índices térmicos y las variables utilizadas para su cálculo. Un aspecto interesante es el bajo índice de correlación entre v y K , cuando el cálculo de este índice depende de v además de T .

Tabla 2. Coeficientes de correlación (r) entre los índices térmicos y las variables utilizadas para su cálculo en la ciudad de Xalapa, Ver.

Índice	T	HR	V
TE	0.98	-0.39	0.40
K	-0.78	0.41	0.15

El *termopreferendum* para la ciudad de Xalapa tuvo un valor de 23.2°C y la amplitud del rango de confort fue de 4°C. Bajo estos resultados, en la **Tabla 3** se muestran los límites de las sensaciones térmicas de acuerdo a la escala ASHRAE.

Tomando como base la temperatura, en la tabla 4 se presentan los modelos de regresión lineal entre los índices TE y K y esta variable. Así, este sencillo paso permitió ajustar la escala de los índices señalados utilizando los límites térmicos de la **Tabla 3**.

Tabla 3. Límites de las sensaciones térmicas de la escala ASHRAE a la ciudad de Xalapa, Ver., con base en la temperatura

Rango de Temperatura (°C)	Sensación Térmica
> 33.2	Muy caluroso
29.2 a 33.2	Caluroso
25.2 a 29.2	Ligeramente caluroso
21.2 a 25.2	Confortable
17.2 a 21.2	Ligeramente fresco
13.2 a 17.2	Fresco
< 13.2	Frío

Tabla 4. Modelos de regresión lineal, coeficientes de determinación y errores estándar de estimación de los índices térmicos y la temperatura en la ciudad de Xalapa, Ver.

Modelo	Coefficiente de correlación	Coefficiente de determinación	Error estándar de estimación
TE = 3.62 + 0.69T	0.98	0.96	0.78 °C
K = 599.3 - 15.7T	-0.78	0.62	2.37 KCal/m ²

En las **Tablas 5 y 6** se muestran las escalas de sensaciones térmicas estandarizadas a través de las regresiones lineales.

Para fines de comparación, en las **Figuras 1 y 2** se presentan las marchas diurnas promedio de las sensaciones térmicas para TE y K estandarizados a la escala ASHRAE para los meses de enero y abril, contrastantes en cuanto a sensaciones térmicas.

Tabla 5. Escala de sensaciones térmicas de K una vez estandarizada a la escala ASHRAE a través del *termopreferendum* y rango de oscilación

Sensación térmica	Límites de TE (KCal/m ²)
Muy Caluroso (MC)	< 54.5
Caluroso (C)	54.5 – 112.0
Ligeramente Caluroso (LC)	112.0 – 169.5
Confortable (CO)	169.5 – 227.0
Ligeramente Fresco (LF)	227.0 – 284.4
Fresco (F)	284.4 – 341.9
Frío (Fr)	> 341.9

Tabla 6. Escala de sensaciones térmicas de TE una vez estandarizada a la escala ASHRAE a través del *termopreferendum* y rango de oscilación

Sensación térmica	Límites de K (°C)
Muy Caluroso (MC)	> 29.1
Caluroso (C)	26.0 – 29.1
Ligeramente Caluroso (LC)	22.8 – 26.0
Confortable (CO)	19.7 – 22.8
Ligeramente Fresco (LF)	16.5 – 19.7
Fresco (F)	13.4 – 16.5
Frío (Fr)	< 13.4

Como se observa en las **Figuras 1 y 2**, las sensaciones térmicas obtenidas después de estandarizar los índices son un tanto similares. En el caso del mes de enero, las sensaciones térmicas de TE oscilan de FR (Frío) a Ligeramente Fresco

(LF), en tanto que para K solamente lo hacen entre Frío (FR) y Fresco (F). Desde luego, las sensaciones de mayor "frío" ocurren hacia las horas de la salida del sol, mientras que las de mayor "calor" ocurren hacia las primeras horas de la tarde.

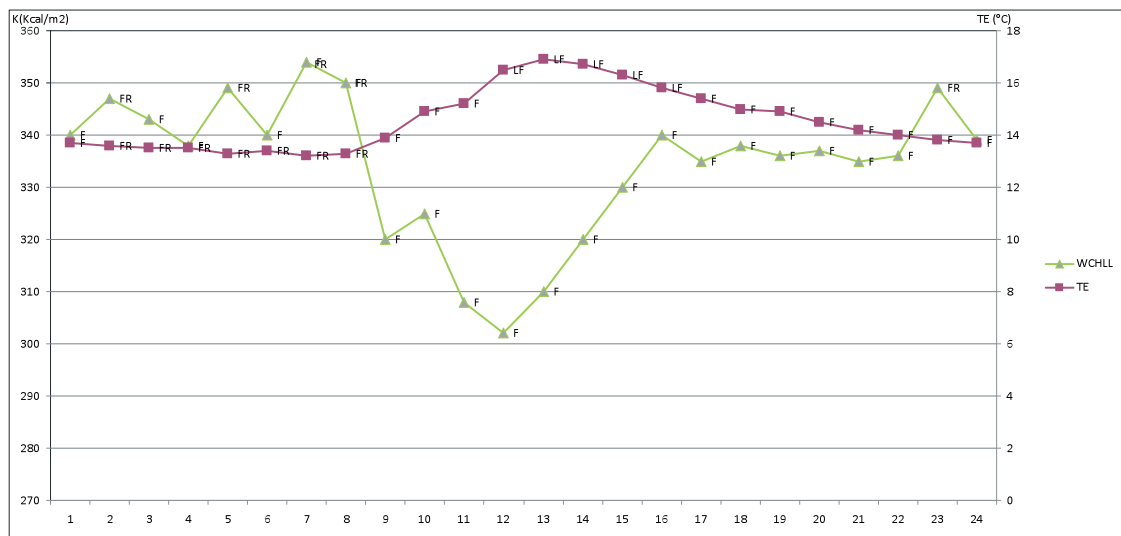
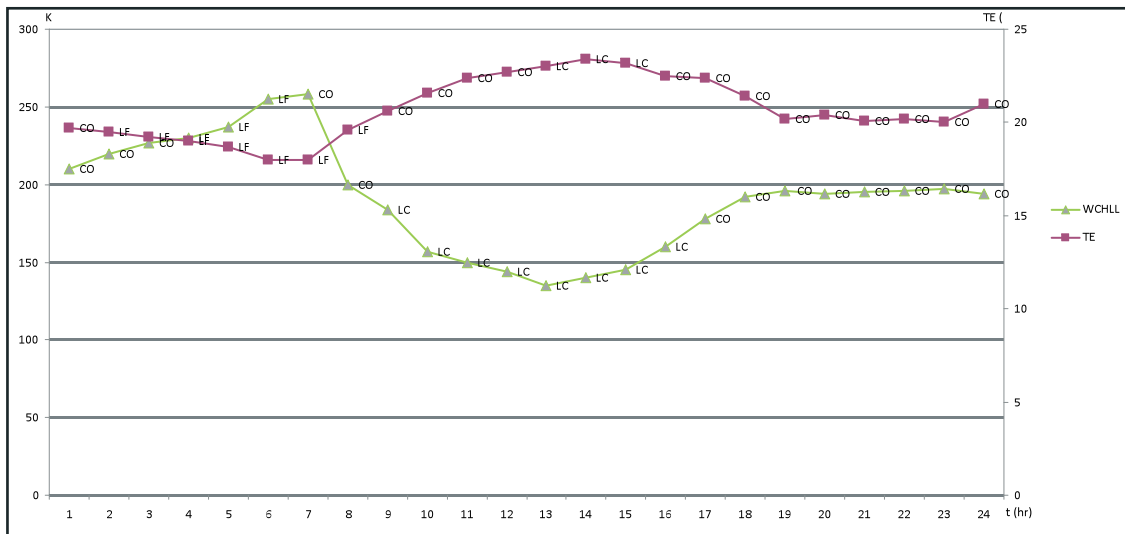
Figura 1. Marcha horaria diurna promedio de TE y K durante el mes de enero de 1999 en la ciudad de Xalapa, Ver.


Figura 2. Marcha horaria diurna promedio de TE y K durante el mes de abril de 1999 en la ciudad de Xalapa, Ver.



En el mes de abril, ambos índices oscilan entre tres sensaciones térmicas: Ligeramente Fresco (LF), Confortable (CO) y Ligeramente Caluroso (LC). Comparadas con el mes de enero, desde luego, son sensaciones de mayor "calor". En este contexto, al menos en la sensación térmica, la coincidencia de los índices es alta.

DISCUSIÓN

La relación bidireccional que existe entre el cuerpo humano y la atmósfera es evidente; de tal forma que muchos de los estudios que iniciaron con el objetivo de mantener una alta producción (agrícola, minera, industrial, etc.) se han extendi-

do en la actualidad con fines de mejorar el desarrollo manual, perceptivo e intelectual del ser humano (Tudela, 1982).

Son muchas las variables, factores y condiciones que se requieren para alcanzar el desarrollo óptimo del ser humano, además de que este tipo de estudios se han generado para latitudes y grupos étnicos específicos, por lo que en este trabajo sólo se presentan dos índices térmicos sencillos que combinan a la temperatura con otra variable (en este caso, humedad relativa para un índice y viento para otro). Este tipo de índices han sido utilizados en nuestro país desde hace ya varias décadas y actualmente y a futuro



La sensación térmica depende de muchos factores: edad, género, actividad física que se realiza, estado de salud, ambiente alrededor, etc. Pero en su mayor parte depende de las condiciones meteorológicas.



La relación bidireccional que existe entre el cuerpo humano y la atmósfera es evidente.



Los índices empíricos TE y K pueden ser aplicados a una ciudad de clima templado como Xalapa, Ver.

con los mismos fines (por ejemplo Jáuregui, 1971; Jáuregui *et al.*, 1997; Jáuregui y Tejeda, 2001), y aunque existen nuevas tendencias y modelos, la aplicación de encuestas de confort para zonas y lugares específicos son una fuente de información referente a las preferencias de los individuos en cuanto a sus necesidades para alcanzar el confort (García, 2008). Si bien en este trabajo no se aplicaron encuestas como se señala en el párrafo anterior, se buscó atacar la adecuación y estandarización de escalas de dos índices para compararlos.

CONCLUSIONES

Con base en lo aquí presentado, se concluye que los índices empíricos TE y K pueden ser aplicados a una ciudad de clima templado como lo es la ciudad de Xalapa, Ver., después de llevar a cabo la estandarización, las sensaciones térmicas obtenidas son muy similares. La estandarización a través del *termopreferendum* considera, de alguna manera, la aclimatación de las personas al sitio de estudio, pues conlleva en su cálculo tanto

a la temperatura media como a la oscilación térmica del lugar.

Los índices aquí expresados representan la ventaja de utilizar para su cálculo información que, generalmente, es medida en un observatorio meteorológico como lo es la temperatura, la humedad relativa y el viento.

Finalmente, es importante destacar dos aspectos: la información bioclimática tiene diferentes tipos de aplicaciones como la arquitectura (bioclimática), la planeación urbana, la evaluación de gastos de energía y la medicina, entre otras. Y si bien, hoy día se habla del efecto del cambio climático, el crecimiento urbano tiene un efecto mayor a éste, pues los materiales con los que se construyen las ciudades son buenos absorbedores y emisores de calor, para cuyo caso se deben realizar otro tipo de estudios que quedan fuera del objetivo del presente.

Agradecimientos: Esta investigación fue parcialmente financiada por DGAPA-PAPIIT, UNAM en el proyecto IN213209-3.



La información bioclimática tiene diferentes tipos de aplicaciones como la arquitectura (bioclimática), la planeación urbana, la evaluación de gastos de energía y la medicina, entre otras.

REFERENCIAS

- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Standard. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta, Ga, 55-56, 1966.
- AULICIEMS, A., Greenhouse warmed Europe: thermoregulatory criteria for future indoor climate management. *Int. Journal of Biometeorol*, 36, 201-209, 1992.
- FANGER, P. O., *Thermal Confort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Denmark: Danish Technical Press, 244, 1970.
- GARCÍA, G., Equivalencia de consumos eléctricos domésticos e índices de bioclima humano en siete ciudades cálidas de México. *Tesis de Licenciado en Ciencias Atmosféricas*. Fac. de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver, 107pp, 2008.
- GIVONI, B., Biometeorological indices. *Progress in Biometeorology*, vol. 1 Part 1A, Holanda: Swtez and Zeitlinger, 138-145, 1974.
- HENTSCHELL, G., A human biometeorology classification of climate for large and local scales. *Climate and Human Health. Proceedings of the Symposium in Leningrad*, 1, 120-138, 1986.
- JÁUREGUI, E., Evaluación del bioclima en dos clínicas de la Ciudad de México. *Bol. del Inst. de Geografía UNAM*, 4, 23-36, 1971.
- JÁUREGUI, E., et al., Bioclimatic conditions in Mexico City-an assessment. *Int. Journal of Biometeorology*, 40,166-177, 1997.
- JÁUREGUI, E. y A. TEJEDA, A scenario of human termal comfort in Mexico City for 2CO2 conditions. *Atmósfera*, 14, 125-138, 2001.
- LANDSBERG, H. E., *Assessment of human bioclimate. A limited review of physical parameters. Nota Técnica 123 de la WMO*, Suiza, 36 pp, 1972.
- MISSENARD, A., *L'Homme et le Climat*. Francia: Eyrolles, 1937.
- MORGAN, D. L. y R. L. BASKET, Comfort of man in the city. An energy balance modelo f man-environment coupling. *Int. J. of Biomet*, 18,184-198, 1974.
- Organización Meteorológica Mundial, *Vocabulario Meteorológico Internacional*. Suiza, OMM, 276 pp, 1992.
- SIPPLE, P. A. y C. F. PASSEL, Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperaturas. *Proceed. Of the Am. Phil. Soc.*, 89, 177-199, 1945.
- TAESLER, R., Climate characteristic and human health-the problem of climate classification. *Climate and Human Health. Proceedings of the Symposium in Leningrad*, 1, 81-119, 1986.
- TERJUNG, W. H., Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimate based on man. *Ann. Assoc. Am. Geog.*, 56,141-179, 1966.
- TUDELA, F., *Ecodiseño*. México: Ediciones UAM, 223 pp., 1982.
- WAKELY, P., *Diseño y Confort Térmico en Climas Cálidos. Un Texto de Aprendizaje para Arquitectos*, Bogotá: Universidad de Los Andes, Col. Mimeo, 1978.
- Fotografías propiedad del autor.