
Cuad. de Geogr. ● 80 ● 147 - 182 ● València 2006

JOSÉ TORNERO*
ALEJANDRO J. PÉREZ CUEVA**
FRANCISCO GÓMEZ LOPERA***

CIUDAD Y CONFORT AMBIENTAL: ESTADO DE LA CUESTIÓN Y APORTACIONES RECIENTES¹

RESUMEN

En este trabajo se analizan las relaciones entre clima urbano, confort ambiental y planificación urbana desde el punto de vista de la evolución de los conceptos e ideas fundamentales, de las aportaciones metodológicas básicas realizadas y de las aplicaciones y revisiones de los últimos años, en particular en el campo de los índices de confort. Se traza, con ello, un estado de la cuestión y se destacan las aportaciones recientes más destacadas.

PALABRAS CLAVE: Clima urbano, planificación urbana, confort ambiental, índices de confort, estado de la cuestión.

ABSTRACT

CITY AND ENVIRONMENTAL COMFORT: A REVIEW AND RECENT CONTRIBUTIONS

This paper analyses the relationships between urban climate, environmental comfort and urban planning, from the point of view of the concepts and fundamental ideas evolution, from the basic methodological contributions and from recent year's reviews, especially in the topic of the environmental comfort indexes. The paper gives a review with highlights in the more recent contributions.

KEY WORDS: Urban climate, urban planning, environmental comfort, comfort indexes, state of the art.

El concepto de “*confort*” es un término preciso y ambiguo a la vez. Casi todos los autores coinciden en que hace referencia a una situación de bienestar, pero precisamente esa amplitud de la definición dificulta su precisión científica, por que... ¿qué puede entender por confort un geógrafo, un sociólogo, un meteorólogo, un médico, un arquitecto o un

* Geógrafo. Universitat de València.

** Departament de Geografia. Universitat de València.

*** E.T.S. Arquitectura. Universitat Politècnica de València.

Fecha de recepción: Septiembre 2007. Fecha de aceptación: noviembre, 2007

¹ Este trabajo ha sido realizado con la ayuda del proyecto de investigación “Investigación sobre técnicas que permitan el control y mejora del confort climático en los espacios abiertos de la ciudad de València” (Ministerio de Educación y Ciencia, BIA2005-01284).

ingeniero? Los distintos autores convienen en entender que normalmente el término confort hace referencia a un estado de bienestar climático o térmico, sin excluir otras condiciones de satisfacción material. Ese estado de bienestar es consecuencia de un cierto equilibrio entre el hombre y su medio, entre sus condiciones fisiológicas y las ambientales, y como expresión de tal equilibrio es un tema susceptible de variadas perspectivas y permanente interés.

ANTECEDENTES

El confort bioclimático

El hombre ha buscado desde siempre entender la relación hombre-clima y consecuentemente una de sus relaciones más estrechas, que es la del confort bioclimático. En la antigüedad fue Hipócrates quien, en sus "*Aforismos*", mejor precisó la influencia del clima y el medio sobre el bienestar y la salud de los hombres. En su famosa obra "*De los aires, de las aguas y de los lugares*", dice Hipócrates que el aire, agua y clima son los factores fundamentales para explicar la salud de los habitantes de una determinada ciudad, dando así inicio a una larga bibliografía que buscaba, en la influencia del medio sobre el hombre, la razón de su salud, bienestar y felicidad.

Este hecho ha estado ya presente, desde siempre, en la valoración geográfica de múltiples elementos territoriales o urbanos. Así, la distinta orientación o emplazamiento de pueblos y casas (*solanas o sotaventos*, frente a *umbrías o barloventos*), fue pronto considerada como causa y razón de la mayor confortabilidad de las primeras sobre las segundas. Por eso, el mismo Aristóteles afirmaba: "*...las ciudades más sanas son las construidas en una ladera hacia el este, puesto que el viento sopla desde el cuadrante de la salida del Sol*". Similar es la preocupación de Vitrubio, para quien la consideración principal que debe presidir el trazado de las ciudades es defenderlas de los vientos predominantes (CHUECA, 1970, p. 111).

También Leon Battista Alberti, con su *Re Aedificatoria* (1485), dedicó su atención a la influencia del ambiente sobre diferentes construcciones arquitectónicas, con un enfoque que, para la época, era extraordinariamente moderno (LANDSBERG, 1981). En el mismo sentido, se pensaba que si el clima y el ambiente condicionan la confortabilidad de un territorio, esto se manifestaba en su salubridad. Esto permite afirmar que la salubridad o confortabilidad de cualquier comarca, o espacio urbano, eran componentes geográficos del territorio, características intrínsecas del mismo, como su temperatura, humedad o altitud, con las que de forma tácita o explícita, se le considera relacionado. Por ello Plinio afirmaba: "*...el arquitecto ha de conocer el arte de la medicina y sus relaciones con las regiones de la tierra y los caracteres de la atmósfera*".

En la Edad Moderna un ejemplo de esta actitud nos la proporcionan las "*Relaciones Topográficas*" de Felipe II, que incluyen algunas preguntas y respuestas en este sentido. De los tres interrogatorios utilizados para la elaboración de dichas "*Relaciones*", el del Dr. Páez de Castro, aunque tiene pocas referencias a este respecto, en una de las cuestiones indaga sobre "*Los remedios que tienen contra las nieblas e injurias del tiempo*". Y más explícitos son los interrogatorios de 1575 y 1578, una de cuyas preguntas, la 17ª, inquiriere sobre "*La calidad de la tierra en que está el dicho pueblo, si es caliente o fría, llana o serranía, rasa, montañosa o áspera, tierra sana o enferma*". Evidentemente, estos hechos revelan una errónea

concepción de determinados fenómenos fisiológicos y climáticos, pero tienen el interés de subrayar, aunque sea en exceso, la relación entre clima, salud y confort.

De esta forma, la enfermedad o la salud podían prevenirse “geográficamente”, y como tales eran susceptibles de una cartografía o de un tratamiento espacial. Para el principal teórico de esta postura, Max Pettenkofer: “...la constitución física del suelo, su pureza o contaminación con sustancias orgánicas constituyen las condiciones sanitarias de una localidad” (HAUSER, 1979, p.172). Todavía en 1902, el Dr. Hauser, que se reconocía como discípulo de Pettenkofer, definía el clima como: “...las modificaciones atmosféricas (...) de una región (...) en relación al bienestar de sus habitantes” (HAUSER, 1979, p.111).

Pero, sin duda, fue Max Sorre uno de los geógrafos que primero abordó, con mayor precisión, el tema del confort climático como un fundamento esencial de la Geografía Humana y, lo que aquí más nos interesa, fue también el primero que lo relacionó con el microclima de las ciudades y con las modificaciones debidas al hombre.

En todos estos aspectos tiene mucho que decir la Geografía, como ciencia que estudia los espacios terrestres en sus rasgos naturales y humanos, profundamente imbricados. La Geografía ha sido siempre ciencia ecológica, y no en vano el gran geógrafo Sorre, en su esencial obra “*Les fondaments de la Géographie Humaine*”, subtítulo el primer volumen “*Ensayo de una ecología del hombre*” (SORRE, 1943) y allí, al estudiar el clima, ya se refiere al de la ciudad. También en Estados Unidos, fueron geógrafos del Departamento de Geografía de la Universidad de California (TERJUNG 1966) quienes concretaron un índice de confort, con una aplicación gráfica, similar a la Carta Bioclimática de Olgay, pero con base en el ábaco psicrométrico. Una aplicación de este índice a la ciudad de Valencia, en la que se realizó un análisis comparado del confort entre los observatorios de Manises y de Valencia-Vivers, fue la efectuada por Canet y Pérez Cueva (1998).

En el Siglo XX es cuando se emprenden estudios sistemáticos sobre las relaciones hombre-ciudad-clima. Aparece la primera síntesis sobre el clima urbano de Kratzer (1937), y el completo estudio de Chandler (1965) sobre la ciudad de Londres, así como muchos trabajos de diversos autores y ciudades que marcan el comienzo de una rama de la climatología, la urbana, cada vez con más adeptos y futuro.

Uno de estos temas es el abordado en este trabajo: el de la relación entre el clima urbano y el confort biometeorológico. Si los años 80 y 90 del pasado siglo son los del despegue de los estudios de climatología urbana, pronto se verá la necesidad de aplicar los nuevos conocimientos adquiridos sobre los balances de energía y humedad de las ciudades al campo del confort bioclimático: la ciudad puede alterar los parámetros del confort tanto en sentido positivo como negativo. Y consecuentemente, en años recientes, son cada vez más numerosos los trabajos que inciden en la trilogía clima urbano-confort-planificación urbana. Pero para ello ha sido necesario que, con anterioridad, se haya desarrollado la etapa previa de los estudios de clima urbano y de confort biometeorológico por separado.

La “medida” del confort bioclimático

Dentro de este campo genérico, la preocupación fundamental es encontrar respuesta a la pregunta de qué es el confort. En la práctica el problema consiste en lograr un índice que sea capaz de medir la “temperatura efectiva” de la superficie del cuerpo (a nivel de la piel), que es la sensación térmica que el organismo experimenta realmente. Pero esa temperatura, según distintos autores, es consecuencia no sólo de la temperatura ambien-

te, sino también de la biológica y, sobre todo, de la intensidad de enfriamiento, en el que interviene el viento y la humedad, que al actuar sobre la evapotranspiración, modifican el proceso térmico.

La resultante es una variable compleja que, desde antiguo, se ha intentado medir con diversos instrumentos, y a la vez ha dado lugar a distintas formulaciones, como las de Vicent, Taylor y Visher, Siple y Passel, Winslow y Herrington, Hill, etc. En 1923, Houghton y Yaglou elaboraron un "índice de temperatura efectiva", combinando la temperatura y la humedad. En el mismo sentido Missenard utilizó, diez años después, la "temperatura resultante", que ya incluía la radiación. Por último Givoni (1976) incorpora la producción de sudor como instrumento de medición en su "índice de tensión térmica". Similares son los índices de confort de Hill o de Siple.

Son innumerables los trabajos de científicos de todo el mundo. Convendría resaltar, por su antigüedad los de Aronín y otros de la Escuela de Berkeley, entre los que se encuentran W. Allen, Gugler, Hutchinson, Langley, Manley y Zom. La Escuela de Berkeley ha seguido distintas orientaciones en sus estudios del clima y confort urbano, destacando, sobre todo, los de ecología urbana (REGISTER, 1987).

De este grupo destaca ampliamente por su labor personalísima el profesor V. Olgyay, de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Princeton hasta 1970, y precursor en la investigación sobre la relación entre arquitectura y energía. Su libro "*Design with Climate*" (1963) constituye un elemento de referencia clave para aquellos arquitectos y urbanistas interesados en estos temas. Los principios básicos enunciados en este libro, así como los procesos de diseño que en este libro se recomiendan, son directamente aplicables a cualquier proyecto actual. Recientemente (1988) se ha editado en español, con el título: "*Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*".

Otro grupo que ha destacado en estas investigaciones ha sido el Departamento Británico de Investigaciones Científicas e Industriales, dirigido por los doctores H.M. Vernon y T. Bedford, quienes llegaron a través de distintas investigaciones a definir las condiciones de confort, de forma similar a cómo lo hizo Olgyay. Posteriormente se realizaron estudios de interacción entre los parámetros microclimáticos y el confort térmico, aplicados al diseño de los conjuntos de edificios (BROWN y GILLESPIE, 1995). Otro grupo de científicos americanos intentaron establecer una medición psicológica, combinando los efectos de la temperatura, de la humedad y el movimiento del aire, denominada escala de temperatura efectiva (HOUGHTON y YAGLOU, 1923).

Las fuentes anteriormente citadas le sirvieron a Olgyay para definir, con la máxima precisión, el polígono de confort de su Carta Bioclimática, tan útil para el estudio del confort en espacios abiertos de la ciudad. Posteriormente será modificada por otros investigadores, entre los que se encuentran Auliciems, Arens y Szokolay. Este último dirige en la actualidad un grupo de investigación muy importante en la Universidad de Sydney.

El confort térmico en la ciudad

El estudio del confort térmico en la ciudad ha sido una cuestión del máximo interés para numerosos científicos. Y es que, como dijo Manuel de Terán, la ciudad representa "*la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, nuevas construcciones, otro plano y disposición del territorio, ni tampoco la aglomeración humana o mecánica que determina, sino que todo ello modifica las mismas con-*

diciones climáticas y ambientales, elevando la temperatura y afectando al régimen de precipitaciones y de vientos". Este hecho es conocido ya desde hace tiempo, y ha merecido diversos estudios (YOSHINO, 1975; CHANDLER, 1976; LANDSBERG, 1981), entre los más destacados, y en España son conocidos los estudios de López Gómez (1985 y 1993) y su grupo de trabajo de la Universidad Autónoma de Madrid.

Sobre los estudios del clima urbano se realizó una revisión exhaustiva por Vilas Boas (1983); este autor destaca en sus descripciones los trabajos de Peterson sobre las islas de calor, los de Lowry, sobre la atmósfera urbana y los de McHarg sobre la importancia de las áreas verdes. Autores como McHarg (1969) y Lynch (1980), introducen en la práctica del diseño urbano y del planeamiento físico variables del territorio y de los recursos naturales para mejorar la calidad ambiental. Vilas Boas y Oliveira (1986) realizan un estudio muy interesante sobre un área urbana del Plano Piloto de Brasilia, en el que llegan a un análisis descriptivo en cuanto a la orientación de los edificios a los vientos, a las fuentes del ruido y al sol.

La Conferencia sobre Climatología Urbana, celebrada en México (1984) produjo una serie de recomendaciones y trabajos condensados en OMM N° 652 (OKE, 1986a). En ella destacan, entre otros, los trabajos de Oke (1986b), Jáuregui (1986), Monteiro (1986), Sánchez de Carmona (1986), Landsberg (1986) y Givoni (1986). Bustos Romero (1988), intentando suplir una falta de elementos de diseño urbano, desarrolla en Brasil principios bioclimáticos de diseño urbano. Oliveira (1988) estudia la adecuación de la forma urbana al clima y trata la primera como condicionante del clima urbano.

En Europa, fueron distintos grupos de investigadores los que trabajaron estas investigaciones. Quizá cabe destacar el grupo del profesor Sukopp en Alemania, por sus estudios de climatología y confort urbano en Berlín.

Especial interés han tenido los trabajos que han intentado conectar los índices de confort con otras variables ambientales, como por ejemplo las zonas verdes. Son de una gran entidad los estudios llevados a cabo en la ciudad de Seoul por el Department of Landscape Architecture de la Universidad de Seoul (KWI-GON 1989), quien en su libro "*Climate, Urbanization and Green Spaces in Urban Areas*" desgrana la participación de los espacios verdes, en cada distrito de la ciudad, correlacionados con el índice de confort de THOM (1957). Este mismo Departamento, posteriormente ha realizado estudios sobre Ecología Urbana aplicada a la ciudad de Seoul, donde se hace un tratamiento muy interesante y riguroso del confort en los espacios abiertos y el diseño de las zonas verdes, en relación con el confort.

Precisamente, en la ciudad de Valencia se realizó un Proyecto Piloto conjunto con la ciudad norteamericana de Dayton (SALVADOR y SMITH, 1987) donde se plantea también la relación del confort con algunos parámetros medioambientales, entre los que se incluyen las zonas verdes. También en la ciudad de Valencia realizamos una investigación sobre el papel de las zonas verdes en la ciudad y su relación con el confort (GÓMEZ LOPERA *et al.*, 1998).

Los espacios abiertos

Terminamos estos antecedentes haciendo referencia, ya de forma directa, al confort en espacios abiertos. Para ello partimos de la evidencia de que las condiciones climatológicas de una localidad condicionan la forma de vida de sus habitantes. Por ello, el diseño de los espacios públicos ha supuesto siempre una respuesta a las condiciones climatoló-

gicas adversas, facilitando la adaptación del hombre al medio ambiente exterior. Toldos, pérgolas, vegetación, fuentes y estanques, son algunos de estos recursos que aún hoy día se pueden contemplar en los espacios urbanos. La finalidad básica de estas técnicas es modificar el clima del lugar, creando un microclima en las zonas tratadas que mejore la habitabilidad de esos espacios. Todas las técnicas utilizadas emplean el potencial de las fuentes naturales de energía disponibles.

En general, los investigadores en bioclimatología proponen aplicar sus conocimientos desde la escala del edificio individual a la de los grandes conjuntos de edificios, y también a la ciudad. Pero apenas una pequeña parte de sus trabajos se ha dedicado al complejo problema de diseño urbano. Cook (1991) hace una contabilidad del espacio dedicado por diversos autores en sus libros a la temática del planeamiento, la ciudad y el diseño urbano, mostrando que es muy reducida. Para citar un ejemplo, Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew y Szokolay dedican seis páginas, de las 320 del libro "*Manual of Tropical Housing and Building*", al planeamiento de los asentamientos urbanos (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973). En los congresos PLEA, cuyo tema suele ser Arquitectura y Espacio Urbano, se están presentando numerosos *papers* sobre el comportamiento y tratamiento de los espacios urbanos. También la Unión Europea ha prodigado congresos sobre estos temas, con la doble vertiente de los edificios y el espacio urbano.

En el terreno de la investigación aplicada hemos de destacar los trabajos del equipo interdisciplinar de la Universidad de Sevilla, que exponían el acondicionamiento de los espacios exteriores del recinto de la EXPO'92 (R. Velázquez, S. Alvarez, J. Guerra, E.A. Rodríguez, J.M. Cejudo). Este grupo de investigación ha llegado a especificar las diferentes técnicas usadas para el control climático de los espacios exteriores; y López de Asiain, J. Pérez de Lama, J. Cabeza Laínez y J. Ballesteros, que trataron el enfriamiento pasivo de los espacios abiertos de la EXPO'92, en el Plan Director de la Expo (1987).

El proyecto bioclimático para los espacios abiertos pretende ser un ejemplo de continuidad cultural, con enfoques tradicionales de acondicionamiento natural, especialmente de refrigeración y uso inteligente de las tecnologías modernas. La solución ambiental de estos espacios con técnicas de control ambiental artificial suponía, de un lado, romper con la tendencia universal de recuperación y estrecha vinculación con la naturaleza y, de otro, renunciar a la aplicación de los más avanzados conocimientos y técnicas de climatización pasiva de todo el mundo. No era posible dejar de considerar los efectos que la climatización artificial produciría sobre el entorno inmediato.

Hay que destacar también los trabajos de Yoklic *et al.* (1991) y los de Evans y Schiller (1991); los primeros presentaron estudios sobre el confort ambiental en pabellones específicos. Evans y Schiller analizan los elementos corrientes de los espacios tradicionales, que permiten un elevado grado de bienestar para sus usuarios, identificando características bioclimáticas, que hacen que estos espacios abriguen convenientemente actividades sociales.

Finalmente, hay que hacer referencia a otro grupo de investigación que se ha generado en torno a la Escuela de Arquitectura de Barcelona, concretamente en torno a las investigaciones del profesor Serra Florenza, y donde se han desarrollado numerosas publicaciones y tesis doctorales sobre temas como "*Arquitectura bioclimática de los espacios públicos*" (BUSTOS ROMERO, 1993), "*Zona variable de confort térmico*" (CHÁVEZ DEL VALLE, 2002) o "*La vegetación como instrumento para el control microclimático*" (OCHOA DE LA TORRE, 1999).

LOS ÍNDICES DE CONFORT

El confort bioclimático

El confort térmico es definido en ASHRAE (1966) como “la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Los intercambios de energía entre una persona y el medio que lo rodea, están expresados por la ecuación de balance de energía calórica del cuerpo humano:

$$M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_{SW} + Q_{RE} = S$$

M es la proporción metabólica (por ejemplo la producción de energía interna por la oxidación de la comida), W el trabajo físico exterior, Q^* el saldo de radiación neta del cuerpo, Q_H el flujo de calor convectivo (sensible), Q_L el flujo de calor latente por la difusión del vapor de agua, Q_{SW} el flujo de calor latente debido a la evaporación del sudor, Q_{RE} el flujo de calor por la respiración (la suma del flujo de calor para calentar y humedecer el aire inspirado) y S es el almacenamiento del flujo de calor para calentar (valor positivo) o enfriar el cuerpo (valor negativo). Básicamente, el estado del cuerpo influye en muchos de estos flujos de calor por la temperatura del cuerpo o la humedad de la piel.

La ecuación propuesta por Fanger (1972) es probablemente la más conocida aplicación del balance de energía. La ecuación de Fanger es aplicada al interior, y asume las condiciones de confort, por ejemplo, poniendo el término S igual a cero. La desconocida temperatura media de la piel (T_{sk}) y del sudor (SW) es reemplazada asumiendo una relación lineal con la actividad (producción interna de calor). Esas interrelaciones fueron definidas empíricamente en condiciones interiores, basándose en los estudios de campo que suponen un gran número de personas sedentarias. La ecuación de Fanger, en su forma completa, da todos los términos relacionados como una función de la producción interna de calor. Para resolver esa ecuación, proporciona el *Predicted Mean Vote* (PMV), definido como el índice térmico correspondiente. PMV indica confort cuando se acerca a cero (de -0.5 a + 0.5). La desviación de cero se considera como un estrés térmico y varía de -3.5 (estrés por frío) y +3.5 (estrés por calor).

El entorno térmico y su impacto en el cuerpo humano no pueden describirse como una función de un único factor, puesto que el cuerpo no posee sensores individuales para cada factor y por lo tanto, se siente el entorno térmico en conjunto. Un índice de “confort térmico” está basado en la misma idea: combina varios factores en una variable sencilla, la cual concentra sus efectos simultáneos en las respuestas sensoriales y fisiológicas del cuerpo (GIVONI, 1976, ASHRAE 2001). El “confort mecánico”, por su parte, concierne a la influencia directa del viento sobre las personas (BLOCKEN y CARMELIET, 2004). Ambos efectos son muy difíciles de separar.

Tipos de índices de confort

Los estudios recientes sobre el confort bioclimático siguen teniendo los dos enfoques básicos señalados por Morgan y Baskett (1974): el **enfoque analítico o racional**, basado en el balance energético humano, y el **enfoque sintético o empírico**, basado en combinaciones de diversas variables meteorológicas. Los índices empíricos ignoran el papel decisi-

vo de la fisiología humana, la actividad, la ropa y otros datos personales (altura, peso, edad, sexo...). Los índices racionales son más recientes, suelen estar desarrollados por técnicas informáticas, y dependen del equilibrio de energía humano (HÖPPE, 1993). Aquí, la teoría de transferencia de calor, se aplica como punto de partida racional para describir los diversos intercambios del flujo de radiación sensible y latente, junto con algunas expresiones empíricas, que describen los efectos fisiológicos de control reguladores.

1) Índices empíricos o sintéticos

Uno de los más antiguos índices todavía utilizados es el "*Effective temperature comfort index*" (ET).

$$ET = T - 0.4 (T-10)^*(1 - HR/100)$$

en donde: ET es la temperatura efectiva, T es la temperatura ambiente en °C y HR, es la humedad relativa (en %).

Fue propuesto por Missenard en 1937 (HENTSCHEL, 1986) y se trata de un índice que ha tenido una larga evolución de aportaciones (YAGLOU, 1949). La propuesta por Gagge *et al.* (1971) supone un profundo cambio, pasa a denominarse "Temperatura efectiva revisada" (ET*), y se trata ya de un índice de tipo racional.

El índice ET se define como la sensación que se experimenta a una temperatura y humedad dadas, con aire saturado y en calma. Es válido para un sujeto joven, sano, aclimatado al sitio, con vestimenta ligera y sometido a una actividad ligera. Recientemente fue utilizado por Angulo-Córdova *et al.* (2004) para comparar el bioclima humano en dieciséis localidades del estado de Tabasco. Para ello se aplicó el criterio de Wakely (*vid.* WAKELY, 1978), que se basa en la oscilación térmica media anual de la temperatura del aire para determinar el intervalo de confort y construir la escala de sensaciones térmicas del índice ET.

Otro índice ampliamente utilizado es el Wind Chill, desarrollado por Siple y Passel (1945). Es un índice que ha recibido frecuentes críticas en sus 60 años de vida, pero que sigue siendo ampliamente revisado y utilizado (DIXON y PRIOR, 1987; KESSLER, 1993, BRAUNER y SHACHAM, 1995...). El Humidex, propuesto por Lally y Watson (1960), utiliza la temperatura del aire y el vapor de agua para caracterizar ambientes cálidos y húmedos. Fue adoptado por el Atmospheric Environment Service de Canadá y cambiado a grados Celsius (MASTERTON y RICHARDSON, 1979).

Otros índices utilizados en mayor o menor medida son el modelo de Burt, presentado por Burt (1979) y modificado por Tuller (1990), el modelo de Menex, que es un reciente estadio en la evolución del modelo de Budyko (1974) (*vid.* BLAZEJCZYK y KRAWCZYK, 1991; BLAZEJCZYK, 1994; KRAWCZYK, 1994...), el modelo de Fanger (FANGER, 1972), o el de Auliciems y Kalma (1979). Una buena revisión y comparación de todos ellos, aplicada a sensaciones de frío por efecto del viento en verano, ha sido realizada por Tuller (1997), y en ella se muestra la existencia de notables diferencias en los resultados (ver fig.1).

Finalmente, otro de los índices empíricos sencillos con una larga evolución es el índice termohigrométrico (THI). Parte inicialmente del índice de disconfort (DI) de Thom (1959) y recibe aportaciones posteriores (*vgr.* CLARKE y BACH, 1971; GILES *et al.* 1990; KYLE, 1994). Unger (1999) lo utiliza para comparar de un modo sencillo las condiciones de confort de un ámbito rural frente a un ámbito urbano.

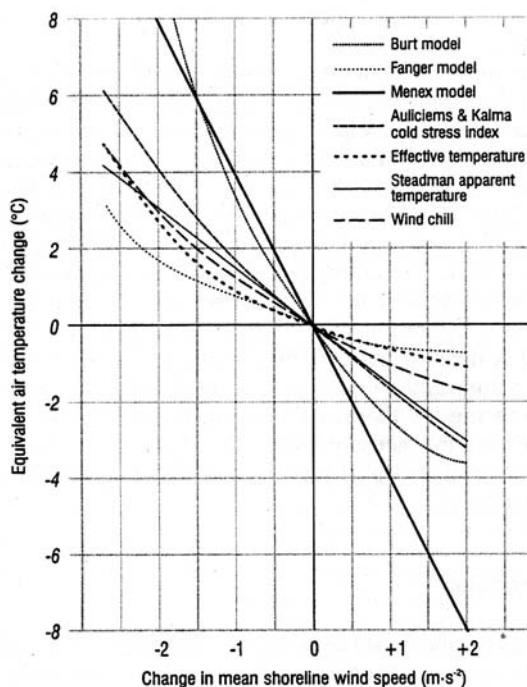


Figura 1. Cambio de temperatura de aire necesario para igualar el efecto de cambios de velocidad del viento en resultados de índices/modelo; media observada en condiciones climáticas a nivel del mar (según TULLER, 1997).

2) Índices analíticos o racionales

Uno de los autores que se preocupó desde fechas más tempranas en analizar el efecto de la fisiología humana, la actividad, la ropa, etc. sobre el confort, y que ayuda a sentar las bases de los índices racionales, fue Steadman, a partir de su tesis doctoral (STEADMAN, 1965). Con posterioridad realizó una serie de aportaciones sobre el enfriamiento del viento en personas vestidas (STEADMAN, 1971), y sobre la sensación de bochorno (STEADMAN, 1979a y 1979b). En estas últimas aportaciones propone un Índice de Temperatura-Humedad en el que se incluyen conceptos de dimensiones del cuerpo humano, temperatura y presión de vapor internas, vestimenta, actividad, etc.; es decir, de los parámetros que hay que añadir a los de los índices empíricos para convertirlos en racionales.

Este índice de Steadman no ha sido demasiado seguido, quizá por su complejidad. En el cuadro I pueden observarse algunos de los índices analíticos más comunes en la actualidad, propuestos por diversos autores. De entre ellos, probablemente los más utilizados sean el índice PMV y el PET.

PMV, o "voto medio previsto" fue desarrollado por Fanger (FANGER, 1972; FANGER *et al.* 1974). Predice la valoración media de una amplia serie de personas humanas median-

Cuadro I. Índices de confort térmico seleccionados para interior y aire libre, a partir de Fanger, 1970; Givoni, 1976 y ASHRAE, 2001 (tomado de ALI-TOUDERT, 2005)

Index	Definition
<i>Empirical indices</i>	
ET Effective Temp.	set in Monograms and represent the instantaneous thermal sensation estimated experimentally as a combination of T_a , RH and v
RT Resultant Temp.	comparable to ET but tested for a longer time to meet assumed thermal equilibrium
HOP Humid Operative Temp.	temperature of a uniform environment at a relative humidity RH = 100% in which a person loses the same total amount of heat from skin as the actual environment (comparable to ET* but RH equals 50% for HOP)
OP Operative Temp.	arithmetic average of T_a and T_{mrt} , that is including solar and infrared radiant fluxes weighted by exchange coefficients
WCI Wind Chill Index	based on the rate of heat loss from exposed skin caused by wind and cold and is function of T_a and v , suitable for winter conditions
<i>Rational indices</i>	
ITS Index of Thermal Stress	assumes that within the range of conditions where it is possible to maintain thermal equilibrium, sweat is secreted at sufficient rate to achieve evaporative cooling.
HSI Heat Stress Index	ratio of the total evaporative heat loss E_{sk} required to thermal equilibrium to the maximum of evaporative heat loss E_{max} possible for the environment, for steady-state conditions ($S_{skin}=S_{core}=0$) and $T_{sk} = 35^\circ\text{C}$ constant
ET* new Effective Temp.	temperature of a standard environment (RH = 50%, $T_a = T_{mrt}$, $v < 0.15 \text{ ms}^{-1}$) in which the subject would experience the same sweating SW and T_{sk} as in the actual environment. It is calculated for light activity and light clothing.
SET* Stand. Effective Temp.	similar to ET* but with clothing variable. Clothing is standardized for activity concerned.
OUT_SET* Out. Stand. Eff. Temp.	similar to SET* but adapted to outdoors by taking into account the solar radiation fluxes. Reference indoor conditions are: $T_{mrt} = T_a$; RH = 50%; $v = 0.15 \text{ ms}^{-1}$.
PMV and PT Predicted mean vote Perceived Temp.	PMV expresses the variance on a scale from -3 to +3 from a balanced human heat budget and PT the temperature of a standardized environment which achieves the same PMV as the real environment. Clothing and activity are variables.
PET Physiol. Equiv. Temp.	temperature at which in a typical indoor setting: $T_{mrt} = T_a$; VP = 12h Pa; $v = 0.1 \text{ ms}^{-1}$, the heat balance of the human body (light activity, 0.9clo) is maintained with core and skin temperature equal to those under actual conditions, unity $^\circ\text{C}$.

te valores de la escala ASHRAE de siete niveles (HÖPPE, 1993 y 1999; MAYER y MATZARAKIS, 1997b). Ha sido utilizado en múltiples estudios (*vid.* JENDRITZKY *et al.*, 1990) y se sigue utilizando en la actualidad, en campos muy variados, por ejemplo en la optimización de sistemas de calor, ventilación y aire acondicionado (HVAC) (*vid.* ATTHAJARIYAKUL y LEEPHAKPREEDA, 2005).

PET (*Physiological Equivalent Temperature*) es uno de los más populares y útiles índices bioclimáticos, dado que tiene una unidad ampliamente conocida ($^\circ\text{C}$), que resulta comprensible para planificadores urbanos y tomadores de decisiones. PET se define como la

temperatura del aire a la que el balance de energía humano, para unas condiciones asumidas bajo techo, está equilibrado con unas mismas temperaturas de la piel y tasas de sudoración como las calculadas en condiciones a cielo abierto.

PET fue introducido por Höpfe y Mayer (HÖPPE y MAYER, 1987; MAYER y HÖPPE, 1987). Se define como la temperatura fisiológica equivalente en un lugar dado (bajo techo o a cielo abierto). Es equivalente a la temperatura del aire a la cual, en un lugar bajo techo típico, sin viento ni radiación solar, el balance del cuerpo humano se mantiene con temperaturas interiores y cutáneas iguales a aquellas bajo las condiciones que son evaluadas. Está basado en el *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), que modeliza las condiciones térmicas del cuerpo humano de un modo fisiológicamente relevante. El índice PET también ha sido uno de los más aplicados (MATZARAKIS *et al.*, 1999; GULYÁS *et al.*, 2003; GULYÁS, UNGER y MATZARAKIS, 2006) y sigue siendo en la actualidad un índice de referencia fundamental.

Otro de los índices racionales más ampliamente utilizado es el SET* (*Standard Effective Temperature*), que es similar al índice de temperatura efectiva revisado (ET*), pero con la inclusión de la variable "vestimenta". La versión para analizar el confort a cielo abierto es el OUT_SET*, que incorpora, además las temperaturas del aire y radiantes, la humedad relativa, la velocidad del aire, el aislamiento del vestido y el grado de actividad. Ha sido utilizado en diferentes aplicaciones por Dear y Pickup (2001) y recientemente por Spagnolo y Dear (2003a y 2003b) para la caracterización bioclimática térmica de Sydney.

Ante la gran diversidad de propuestas de índices existentes, la Sociedad Internacional de Biometeorología (IDB) ha creado una comisión para revisar los últimos avances en la evaluación de ambientes térmicos exteriores, y de este modo poder integrarlos en un índice climático térmico universal (UTCI) (ver www.dwd.de/UTCI). Un requisito fundamental de un UTCI es que el mismo valor del índice siempre tenga el mismo significado termofisiológico, con independencia de la combinación de los valores meteorológicos de entrada. Por tanto, sólo un índice que tenga en cuenta todos los valores de intercambio de calor podrá ser válido universalmente y se podrá aplicar a todos los climas, en cualquier estación de año, a cualquier escala, y en general a toda aplicación biometeorológica.

3) Otros enfoques

La progresiva inclusión de factores y parámetros en la definición y estimación del confort ha superado casi desde el primer momento los específicos relacionados con el balance de energía del cuerpo humano y sus modificaciones, propios de los índices analíticos. Pronto se manifestó la evidencia de que los factores psicológicos juegan un papel importante en la apreciación del confort individual, en especial en los espacios abiertos (*vid. ap. siguiente*), y deben ser considerados en el diseño de los espacios al aire libre.

Otro de los enfoques, también con investigaciones tempranas, es el que involucra al ruido en la apreciación del confort. Las primeras aportaciones (*vgr.* VITELES y SMITH, 1946; GREYER *et al.*, 1971) sólo investigaron la combinación del ruido con condiciones térmicas cálidas. Con posterioridad, Yamazaki *et al.* (1998) y Mochizuki *et al.* (1998) incluyeron condiciones térmicas frías en sus estudios. Recientemente Nagano y Horikoshi (2001 y 2005), han desarrollado mejoras sustanciales en el análisis combinado del desconfort; en su último trabajo analizan un amplio rango de condiciones de temperatura y ruido. Sus resultados muestran que las condiciones auditivas afectan significativamente a la sensación térmica, del mismo modo que las condiciones térmicas afectan a la sensación de

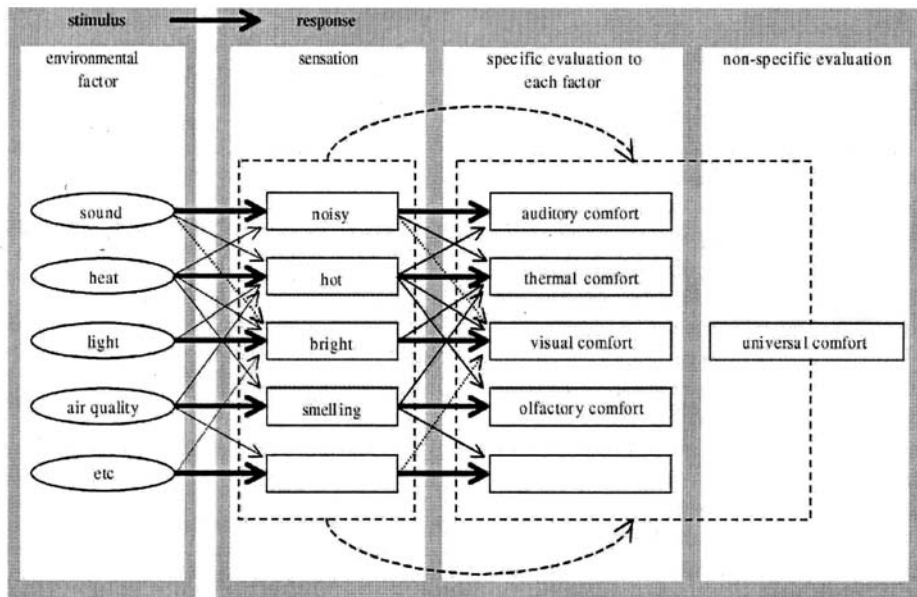


Figura 2. Modelo para efectos combinados de variables ambientales sobre las respuestas fisiológicas humanas (según Nagano y Horikoshi, 2005).

ruido. En definitiva, como muestra la figura 2, el confort ambiental es una mezcla de muchos factores físicos (calor, sonido, luz, calidad del aire...), aparte de los psicológicos.

4) La cartografía y la computación aplicada a la bioclimatología

La cartografía bioclimática es una de las más recientes líneas de investigación, y se halla en pleno desarrollo metodológico. Habitualmente se desarrolla por parte de investigadores que han estudiado todas las etapas, desde el clima urbano y el confort, hasta las condiciones microclimáticas de la ciudad, y se plantea como una generalización de resultados (vid. SVENSSON *et al.* 2002a y b, SVENSSON *et al.*, 2003).

Con anterioridad, ya habían aparecido algunas aplicaciones de la computación al análisis del confort (vgr. FOUNTAIN y HUIZENGA, 1996). Una de ellas es la de GADI (2000), en la que se desarrolla el programa COMFORT, que proporciona resultados de seis índices de confort térmico, tres originales y tres con versiones modificadas. Los índices originales son la Ecuación de Confort de Fanger, el *Sharma's Tropical Summer Index* (TSI) y la Temperatura Equivalente de Madsen (Teq).

Con todo, la aportación más importante de los últimos años ha sido el Modelo RayMan (fig. 3), propuesto por A. Matzarakis y H. Mayer, de la Universidad de Freiburg, y por F. Rutz, de la Universidad de Braunschweig (MATZARAKIS y MAYER, 2000; MATZARAKIS, RUTZ y MAYER, 2000). El modelo RayMan (<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>) puede calcular las influencias de la radiación de onda corta y larga, y es válido para aplicaciones en áreas urbanas caracterizadas por complejas estructuras y micro-

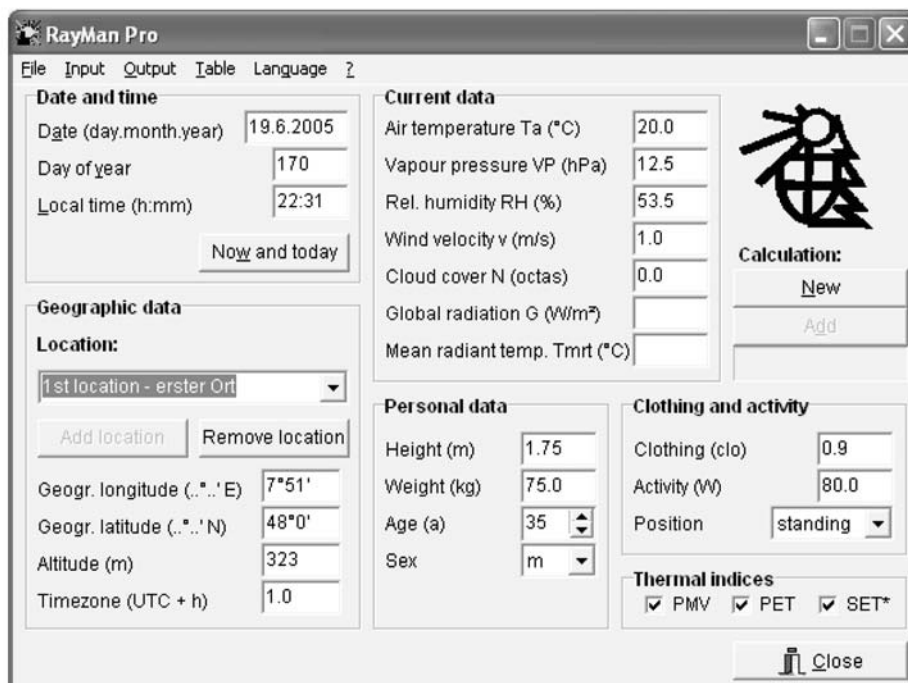


Figura 3. Ventana principal de RayMan Pro.

climas. El resultado final es la temperatura media radiante T_{mrt} que es muy importante en la valoración del ambiente térmico. Puede ser cuantificada mediante el uso de índices termofisiológicos, como el *Predicted Mean Vote* (PMV), el *Physiological Equivalent Temperature* (PET) o el *Standard Effective Temperature* (SET*), basados en el balance humano de energía. El modelo Rayman estima los flujos de radiación y los efectos de las nubes y los obstáculos sólidos (morfologías urbanas) sobre la onda corta.

Al margen de las aportaciones y aplicaciones de sus autores (MATZARAKIS y MAYER, 2000; MATZARAKIS, MAYER y RUTZ, 2002; MATZARAKIS, RUTZ y MAYER, 2006; MATZARAKIS y RUTZ, 2006), muchos bioclimatólogos están ya utilizando esta metodología (vid. GULYÁS *et al.*, 2003; GULYÁS, UNGER y MATZARAKIS, 2006).

Las propuestas de modelos más recientes suelen incluir un diseño del modelo en el que la computación es un elemento fundamental. Uno de estos casos es el propuesto por Mills (1997), que desarrolla un modelo de simulación por ordenador de la *canopy-layer* urbana (UCL), a efectos de evaluar el efecto de conjuntos simples de edificios en el clima interno (edificios) y externo (cañones urbanos) de la UCL.

La validación de los modelos

En las pasadas tres décadas se han desarrollado varios modelos detallados para predecir las respuestas termorreguladoras del cuerpo humano en función del ambiente, grado de

vestimenta o actividad. Muchos de ellos están basados en el trabajo de Stolwijk (1971). Se han aportado mejoras útiles a este modelo de Stolwijk (vgr. por parte de GORDON, 1974, LOTENS, 1993 o HUIZINGA *et al.*, 2001). También se han desarrollado nuevos modelos termorregulatorios, como el de Wissler (1985) y, más recientemente, el de Fiala *et al.* (1999 y 2001), pero todos ellos predicen una respuesta media de una población con unas características estándar del cuerpo. La tendencia reciente se basa en incorporar a los modelos las características humanas individuales (HAVENITH, 2001; ZHANG *et al.*, 2001; GONZÁLEZ, 2004) como el tipo de cuerpo (grueso, delgado) o la tasa metabólica en estado de reposo (RMR). Se han encontrado diferencias inter-individuales notables al frío severo, por ejemplo, en función de la edad, tipo de cuerpo o sexo (MATSUMOTO *et al.*, 1999; SOMEREN *et al.*, 2002). Aunque, comparativamente, hay menos estudios dedicados a la respuesta ante frío moderado, también en estos estudios se han observado respuestas termorregulatorias notables (MARKEN LICHTENBELT *et al.*, 2002; OOIJEN *et al.*, 2004). En un reciente estudio, Marken Lichtenbelt *et al.* (2007) señalan que los objetivos de futuras investigaciones en este campo deben perseguir el obtener un mayor conocimiento de los procesos fisiológicos y las características individuales, mediante la inclusión de más características anatómicas, un mejor tratamiento del flujo de sangre en las extremidades y el desarrollo de mecanismos de control individualizados basados en el comportamiento fisiológico.

Los índices más utilizados suelen tener estudios de validación desde fechas cercanas a su aparición. Es el caso, por ejemplo del PMV (*vid.* DEAR y AULICIEMS, 1985). Por otra parte, las nuevas aportaciones metodológicas, como es el caso del modelo RayMan, también suelen ir acompañadas de estudios de validación específicos (*vid.* MATZARAKIS, 2002), realizados normalmente por los mismos autores que proponen el índice o método.

Otro de los índices más ampliamente utilizados, el OUT_SET*, cuenta con estudios de validación basados en amplias muestras de población (*vid.* SPAGNOLO y DEAR, 2003a). En general, los índices de confort al aire libre son los que presentan más dificultades a la hora de validar sus resultados, pues exigen amplias muestras de contraste y, además, están influenciados en mayor medida por parámetros que van más allá de la física del balance térmico del cuerpo, como es el caso de los parámetros psicológicos (NIKOLOPOULOU *et al.*, 2001).

Aplicaciones de los índices de confort

La potencialidad de los índices de confort en el análisis bioclimático, así como la gran variedad de sus aplicaciones, fueron observadas desde un primer momento: efectos sobre la salud (WATERS, 2001; LASCHEWSKI y JENDRITZKY, 2002), la morbilidad (MARTENS, 1998, NEDEL *et al.*, 2006), el trabajo (YAMAZAKI *et al.*, 1998), los deportes, el sueño, el turismo, etc. (*vid. infra*).

Casi todos estos campos han tenido un desarrollo temprano, ligado a las definiciones y precisiones sobre el concepto de confort bioclimático o meteorológico, y a los sucesivos desarrollos y mejoras de los índices de confort. Podemos decir que se trata de un campo en el que el desarrollo conceptual, metodológico y aplicado ha ido a la par.

Así, por ejemplo, en el campo de la influencia del confort climático sobre el sueño, a partir de los primeros estudios sobre el efecto del confort térmico sobre el equilibrio térmico del cuerpo humano (*vid.* RAMANATHAN, 1964, GAGGE *et al.*, 1969, HARDY *et al.* 1970, etc), se desarrollan trabajos sobre el efecto en los ritmos circadianos, etapas del sueño, efectos en la fase RAM, etc. (ASCHOFF, 1970, BOULANT y BIGNALL, 1973, KARAKAN *et al.*,

1978...) que continúan sin interrupción hasta la actualidad (CANDAS *et al.*, 1982, SAGOT *et al.* 1987, OKAMOTO-MIZUNO *et al.* 1999...). En los últimos años, al enfoque clásico del efecto térmico sobre el sueño (TSUZUKI *et al.*, 2004, SOMEREN, 2004, RAYMANN *et al.*, 2005, SOMEREN, 2006), se han añadido trabajos que analizan en particular el efecto concreto de los flujos de viento (TSUZUKI *et al.*, 2007).

Otro ejemplo de aplicación de los índices de confort es el campo de las actividades deportivas, por ejemplo el análisis del estrés térmico de las carreras de maratón, que en ciertas situaciones de combinación de calor y humedad, puede poner en peligro a los participantes (FREITAS *et al.*, 1985; MCCANN y ADAMS, 1997), o en el caso del surf (LYLE *et al.*, 1994).

Finalmente, el campo del turismo es quizá el que ha tenido mayores aportaciones recientes (*vid.* FREITAS, 2001; CEGNAR y MATZARAKIS, 2004, GÓMEZ MARTÍN, 2004, MATZARAKIS *et al.*, 2004; LIN y MATZARAKIS, 2007, etc.). La climatología turística actual, a diferencia de los enfoques clásicos, se fija en determinados parámetros que tengan una singular relación con la propia actividad (*vgr.* las horas de sol, el número de días de lluvia...), y el confort es uno de los principales.

EL CONFORT Y LA PLANIFICACIÓN URBANA

Como hemos visto en el subapartado anterior, el análisis del confort ha sido aplicado a diversas actividades humanas, pero quizá la más importante de ellas es la que hace referencia a sus relaciones con la planificación urbana.

Existe un criterio unánimemente compartido y aceptado de que la planificación urbana, tanto en sus aspectos urbanísticos y arquitectónicos como en los de vegetación y mobiliario urbano, pueden mejorar notablemente el confort bioclimático. Sin embargo, se ha mostrado por diferentes autores que los aspectos climáticos tienen todavía un bajo impacto sobre los procesos de planificación urbana (LINDQVIST y MATSSON, 1989; PIELKE y ULIASZ, 1998). El fallo en incorporar los resultados de la investigación en clima urbano al diseño urbano han sido atribuidos al hecho de que el clima es sólo uno entre otros muchos parámetros considerados (THAMM *et al.*, 1999). Según ELIASSON (2000) se está todavía lejos de una aplicación satisfactoria del conocimiento climático en la planificación urbana. Para este autor las causas son múltiples y dispares: falta de consenso sobre el papel y la importancia del conocimiento climático en el proceso de planificación, falta de incentivos en los investigadores, falta de comunicación entre las esferas técnica, administrativa y política, falta de métodos y técnicas para recoger y analizar los datos climáticos, etc. En su estudio de tres ciudades suecas mediante técnicas de encuesta, Eliasson concluye la existencia de numerosos problemas (fig. 4), y se llega a preguntar si el confort climático se percibe como importante para el individuo. Estas incertidumbres sobre la percepción que se tiene de la utilidad del diseño urbano en la mejora del confort climático, indicarían que todavía queda un largo camino por recorrer.

Sin duda, en tiempos recientes las dos disciplinas, climatología urbana y diseño urbano, han ido de la mano en el intento de establecer cómo la construcción y el ambiente urbano afectan al clima (MILLS, 1999), en el intento de crear un ambiente "confortable". El enfoque habitual del diseño urbano es el bioclimático, con una aproximación empírica, mientras que la climatología urbana se ha centrado en la modelización de los procesos físicos para determinar el "efecto urbano", casi siempre sin propuestas de diseño

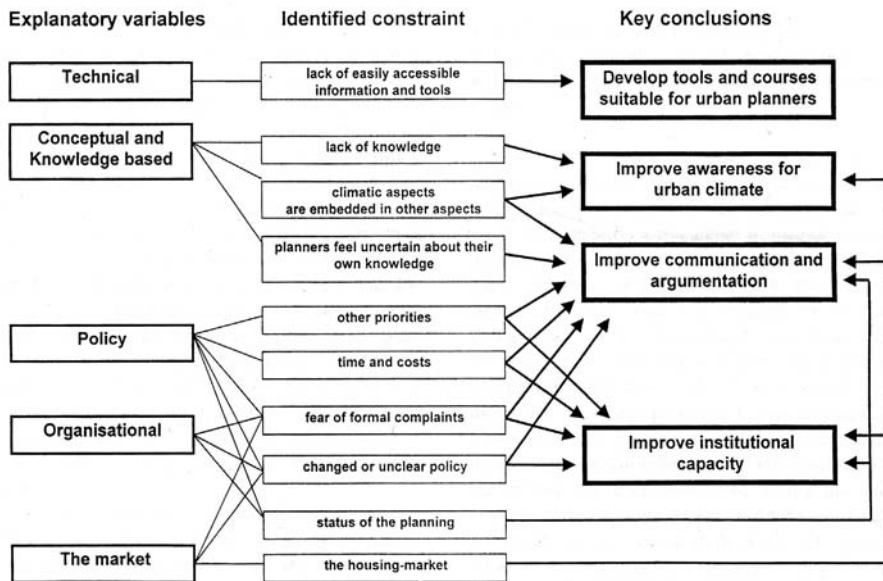


Figura 4. Sistema de resultados sobre la influencia del conocimiento climático en el proceso de planificación urbana, incluyendo variables explicatorias, dificultades identificadas y conclusiones clave (según ELIASSON, 2000).

(ELIASSON, 2000; MILLS, 2006). El punto de unión entre ambas disciplinas, el “*diseño urbano bioclimático*”, se ha desarrollado dentro de la “*biometeorología humana*”, mediante el desarrollo y mejora de índices de confort que modelen la interacción térmica entre el cuerpo humano y el ambiente de alrededor (*vid.* subapartados “índices analíticos o racionales” y “validación de los modelos”). También hay que destacar las aportaciones técnicas sobre la importancia de las variaciones de la temperatura en relación a la planificación urbana (SVENSSON y ELIASSON, 2002).

Este desarrollo de índices de confort, con el tiempo, ha llevado al diseño de índices en espacios abiertos, pero éstos han sido cuestionados ampliamente en el sentido de que son incapaces de proporcionar una visión real de unas condiciones en continuo cambio y de que no incluyen los factores psicológicos (NIKOLOPOULOU y STEEMERS, 2003). Estos autores sugieren que el 50% de la varianza entre la evaluación objetiva y subjetiva del confort no es explicada por las condiciones físicas y fisiológicas, sino que depende de otros factores de índole psicológica (experiencia, expectativas, sentido de control, etc. No obstante, los estudios sobre clima y comportamiento son relativamente raros, aunque no ausentes (*vgr.* NIKOLOPOULOU *et al.*, 2001, ZACHARIAS *et al.*, 2001; THORSSON *et al.*, 2004 y 2006, ELIASSON *et al.*, 2007).

Tipos de ciudades

Las relaciones entre la climatología urbana, la bioclimatología y el diseño urbano pueden tener como punto de partida el funcionamiento de la energía en el volumen de la ciu-

dad, tal como se expresa en la ecuación del balance de energía de un volumen (OKE, 1978): a) el clima urbano analiza las peculiaridades del funcionamiento de la ecuación en una ciudad determinada, b) la bioclimatología estudia en qué medida cada elemento del balance de energía tiende a crear confort o desconfort, y c) el diseño urbano busca actuar sobre cada término del balance mediante soluciones arquitectónicas o urbanísticas para conseguir optimizar el confort.

Así por ejemplo, en las ciudades frías del Norte de Europa, en las que el balance de radiación neta (Q^* , según Oke) es débil y tiende a dar desconfort por frío, son convenientes soluciones que disminuyan las pérdidas por el albedo, como los tejados negros de fuerte inclinación que, además de absorber más radiación, escupen fácilmente la nieve. En las ciudades del Norte de África, en las que los intercambios advectivos y el balance de radiación producen un fuerte desconfort por calor seco, el diseño más adecuado es el de la *medina*, es decir una ciudad cerrada, de calles estrechas e irregulares, tejados planos y colores blancos, capaz de crear microclimas frescos y húmedos con microjardines.

Se pueden considerar tres grandes tipos de ciudades básicas: las frías, en las que la distinción entre húmedas y secas adquiere escasa importancia, las cálidas-secas y las cálidas húmedas, que son, junto con las ciudades mixtas, las más difíciles de tratar desde el punto de vista del diseño urbano.

a) Las ciudades cálidas-húmedas fueron objeto de estudio en la Technical Conference de la WMO de noviembre de 1984, en México D.F. sobre la climatología urbana de las ciudades tropicales (OKE, 1986a), tanto desde el punto de vista del clima urbano (OKE, 1986b, CHOW, 1986, etc.), como desde el punto de vista del diseño (NIEWOLT, 1986). Este último autor sugiere numerosas recomendaciones en cuanto a planificación urbana de estas ciudades y su diseño arquitectónico, y es fácil reconocer que se trata quizá del tipo básico de ciudad más problemático. Con posterioridad, numerosos estudios se han centrado en este tipo de ciudades, tanto desde el punto de vista del confort como del diseño urbano (MONTEIRO, 1990, KYLE, 1992 y 1994, SAD DE ASSIS y BARROS, 1999...). Uno de los más recientes e interesantes es el de Spagnolo y Dear (2003b), que analizan la climatología de Sidney desde una perspectiva bioclimatológica mediante la utilización de un índice de confort térmico, el índice OUT_SET^* . Mediante este análisis, definen el grado de vestimenta (clo) apropiado para cada una de cada una de las semanas del año.

b) Las ciudades cálidas secas son un tipo específico de urbes intertropicales, menos frecuente que las anteriores. En ellas el desconfort es creado, sobre todo, por el fuerte calor estival, pero también por la sequedad del aire. En ellas son apropiadas todas las medidas que reduzcan la entrada de energía a la Urban Canopy Layer (colores blancos, calles estrechas, toldos, tejados planos, alturas uniformes...), así como las que reduzcan los intercambios de aire con el exterior de la ciudad (murallas, calles tortuosas y cerradas...) y las que tienden a humedecer el ambiente (microjardines, fachadas con vegetación...). La ciudad moderna suele diferir en buena medida de estas características, y por ello han sido objeto de un doble tipo de análisis, el del confort de los elementos tradicionales (ALI-TOUDERT *et al.*, 2005) y el del diseño de las urbes nuevas (*vgr.* HARTZ *et al.*, 2006).

Estas ciudades ya fueron consideradas en la Conferencia de la WMO de México de 1984 (GIVONI, 1986). Un reciente y muy completo análisis de estas ciudades, enfocada

en especial al diseño de las calles de este tipo de ciudades es el de Alí-Toudert (2005). En él se puede encontrar una amplísima bibliografía sobre sus características y su problemática específica.

- c) Las ciudades frías y mixtas frías son aquellas en las que el mayor grado de disconfort procede del frío del largo periodo invernal. Hay pocas ciudades siempre frías (por ejemplo, en condiciones de tundra) y en consecuencia apenas se han realizado estudios sobre ellas. En todo caso, en este tipo de ciudades, el diseño urbano está basado en mucha mayor medida en soluciones de tipo arquitectónico que de planificación urbana. La mayor parte de estas ciudades suele tener un periodo estival más o menos corto, en el que pueden llegar a alcanzarse, incluso, condiciones de fuerte disconfort por calor. Es el caso de Erzurum (Turquía), en donde Toy *et al.* (2007) estudian la frecuencia de situaciones entre la categoría hiperglacial del índice THI (-40°C) y la tórrida (más de 30°C). Pero en todas ellas, el periodo estival es un paréntesis, básicamente confortable, entre unas condiciones frías, muy frías o glaciales, y el diseño urbano se centra en corregir este tipo de disconfort sin aumentar en demasía el de signo contrario. En tales casos, el hecho de que la ciudad sea húmeda (lo normal) o fría (muy pocos casos) apenas tiene importancia en esta cuestión. Son bastante numerosos los estudios específicos del confort en ciudades frías mixtas, sobre todo las norteamericanas y europeas (JENDRITZKY y NÜBLER, 1981; UNGER, 1999). En el estudio de Unger de la ciudad de Szeged (Hungría) se muestra que, en las ciudades frías, las condiciones comparadas de confort urbano-rural se decantan claramente hacia un mayor confort en el medio urbano, por efecto de las islas de calor (ver fig. 5). Una de las cuestiones que más suele interesar es el análisis del papel de la vegetación en el confort, que debe proporcionar sombra en verano pero no debe incrementar el

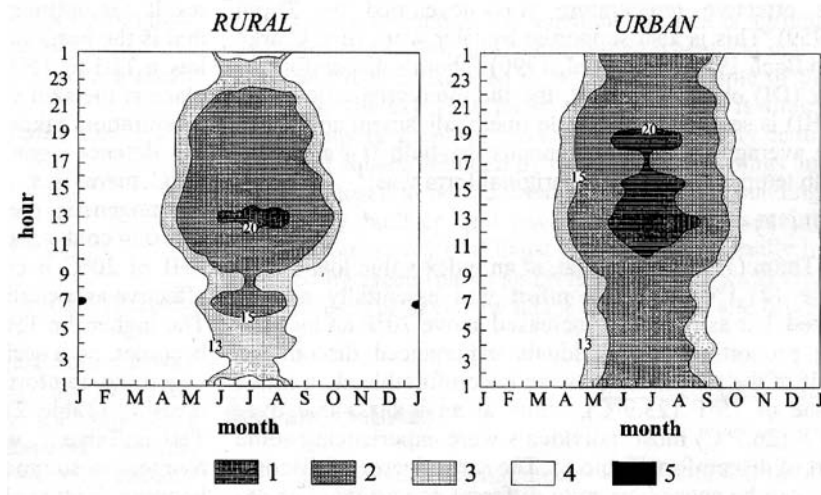


Figura 5. Isoplefas de las condiciones medias termohigrométricas rurales y urbanas del índice THI ($^{\circ}\text{C}$) en Szeged (1978–1980). Condiciones: 1 cálido, 2 confortable, 3 fresco, 4 frío, 5 muy frío (según UNGER, 1999).

disconfort por frío en invierno (SOUCH y SOUCH, 1993, TOY *et al.*, 2007). Se trata de un tipo de estudios también presente en ciudades cálidas mixtas (SIMPSON, 1998).

El confort y los microclimas en la ciudad

El estudio de los microclimas dentro de la ciudad, en especial los producidos por los cañones urbanos tienen un desarrollo casi paralelo al propio de las islas de calor (vgr., CHANG *et al.*, 1971; NUÑEZ y OKE., 1977). En el caso de los efectos microclimáticos de los cañones urbanos se estudia el almacenaje de calor (ASAEDA *et al.*, 1996), las velocidades del viento (PAUL y SIEH, 1986), la relación entre la cinemática de los flujos y la dispersión (HOYDYSH y DABBERT, 1988), su aplicación a la dispersión de contaminantes (YAMARTINO y WIEGAND, 1986; NG, 2006), la estabilidad atmosférica (NAKAMURA y OKE, 1989) y, por supuesto, los balances de energía. Se trata de una línea que mantiene todavía su faceta de investigación básica sobre cómo la ciudad modifica los parámetros meteorológicos, aunque su centro de interés ha pasado a cuestiones cada vez más concretas, como por ejemplo, los efectos de vórtice inducidos por la orientación de las calles respecto al viento (SANTAMOURIS *et al.*, 1999). Su aplicación se ha centrado sobre todo hacia la dispersión de la contaminación (efectos sobre el viento) (vgr. LEE *et al.*, 1994) y hacia el confort (efectos sobre el balance de energía y humedad) (vgr. MAYER y MATZARAKIS, 1997 a y b, GULYÁS *et al.*, 2006).

Otro de los tipos de microclimas ampliamente considerados por los investigadores en confort y planificación urbana es el de las zonas verdes (SUKOPP y WERNER, 1982). En este tipo de estudios se puede analizar el efecto "pasivo" de las zonas verdes en la creación de microclima más confortables (TERJUNG y O'ROURQUE, 1981) pero a menudo también se utiliza el enfoque aplicado de analizar qué tipo de especies o de diseño de jardines es el más adecuado de cara a conseguir el máximo confort (*vid.* GÓMEZ LOPERA *et al.*, 2001, GÓMEZ LOPERA *et al.*, 2004). La vegetación es particularmente beneficiosa en climas cálidos (GIVONI, 1989), reduce el efecto de isla de calor y su papel es destacado incluso en plantas que crecen en fachadas y tejados (SPILLER, 1993).

ESPACIOS ABIERTOS Y SEMIABIERTOS

Muchas de las soluciones que aún se encuentran en nuestros pueblos y ciudades son fruto de la intuición, mejoradas con la experiencia de soluciones anteriores. Cuando antiguamente se diseñaba un espacio abierto, se hacía pensando en mejorar el confort de los ocupantes, pero no existían las herramientas adecuadas para cuantificar el efecto que cada actuación pudiera tener en el resultado final. Hoy día se dispone de herramientas de cálculo que permiten seleccionar las técnicas más adecuadas, valorar el interés de cada una de ellas y optimizar el diseño de la solución finalmente elegida.

En cada tipo de ciudad (ciudades frías, cálidas húmedas, cálidas secas, mixtas...) las soluciones adecuadas son diferentes. Así, por ejemplo, en las ciudades mediterráneas, el acondicionamiento de los espacios abiertos surge como respuesta a los rigores de la estación calurosa. En ellas, el clima exterior limita el campo de aplicación de algunas de las técnicas naturales de enfriamiento. Por ejemplo, un clima húmedo limita las posibilidades de aplicación de las técnicas naturales basadas en el enfriamiento evaporativo. También la velocidad del viento puede llegar a condicionar el diseño de los espacios, obli-

gando a introducir elementos o sistemas que reduzcan la influencia del viento en las condiciones de confort en el espacio tratado, o al contrario, mantengan o aumenten el efecto refrigerante del viento para paliar el disconfort por calor.

Por otra parte, las condiciones climáticas exteriores, junto con la funcionalidad del espacio, definen la intensidad del tratamiento. Es evidente que, en climas suaves, el acondicionamiento de los espacios abiertos puede no ser necesario, mientras que en climas más severos el tratamiento para hacer habitables estos espacios es imprescindible. El diseño de un espacio abierto, pues, ha de partir necesariamente de un conocimiento profundo de la climatología del lugar. El interés se centra no sólo en la temperatura, sino en todas aquellas variables que intervienen de una forma u otra en el balance térmico del habitante: temperatura y humedad del aire, radiación solar incidente, velocidad y dirección del viento. Este análisis del clima local debe ser completado con el análisis del clima urbano, pues es evidente que la ciudad puede paliar o aumentar del disconfort de sus ciudadanos

La utilización de los espacios abiertos por estos ciudadanos está unida directamente a la obtención de niveles de confort aceptables en dichos espacios. En los espacios abiertos no se pretende alcanzar, sin embargo, una sensación de bienestar equiparable a la que se da en recintos interiores climatizados. Si el objetivo final se plantea en estos términos, el problema no tiene solución. Desde un punto de vista técnico, es prácticamente imposible conseguir este objetivo sólo mediante sistemas de enfriamiento naturales. Por lo tanto, al hablar de acondicionamiento climático de los espacios abiertos, es más adecuado hacerlo en términos de suavizar las condiciones climáticas exteriores.

El confort en los espacios abiertos

Los estudios clásicos sobre las islas de calor urbanas, que suponen básicamente una comparación entre el ambiente rural y el urbano, tuvieron pronto una correlación al análisis comparado del confort (vgr. CLARKE y BACH, 1971). Todavía es frecuente observar este tipo de trabajos hasta hoy en día (UNGER, 1999; ROBAA, 2003) y una buena revisión fue realizada por Raja y Virk (2001). Con posterioridad se diversificó este tipo de estudios con la inclusión de espacios semiurbanos, tanto con el análisis de áreas suburbanas como, sobre todo, del confort en los grandes jardines intraurbanos. Se trata de una línea que persiste en la actualidad (vgr. TOY *et al.*, 2007).

Una línea de investigación de gran dificultad pero con numerosas aportaciones es la de la adaptación de los índices y modelos de espacios cerrados a espacios abiertos. La línea parte de la repetida constatación de numerosos investigadores de que los límites térmicos del confort son mayores en espacios abiertos que en cerrados (HÖPPE, 2002; SPAGNOLO y DEAR, 2003a, etc). Las adaptaciones espontáneas en el grado de vestimenta, actividad, exposición, etc., son una de las causas, aunque no la única, de esta disfunción.

La investigación del confort en espacios abiertos comenzó a menudo con la aplicación de índices de los aspectos térmicos desarrollados para condiciones estándar, como el índice PMV, el PET, el SET, etc. Sin embargo, se vio pronto que las condiciones estables asumidas en estos modelos no son adecuadas en estudios de espacios abiertos, con condiciones mucho más variables (VDI, 1998; NIKOLOPOULOU y STEEMERS, 2003; THORSSON *et al.*, 2004). Una aproximación simplemente cuantitativa es insuficiente para comprender la complejidad del confort en los espacios abiertos, por lo que deben incluirse parámetros subjetivos en su análisis (HÖPPE, 2002; AHMED, 2003; STATHOPOULOS *et al.*, 2004; KNES y THORSSON, 2006).

La percepción del confort en espacios abiertos

Otra línea de investigación reciente ha sido la de analizar las condiciones climáticas objetivas y la percepción del confort bioclimático, habitualmente mediante mediciones de los parámetros atmosféricos y la aplicación de cuestionarios simultáneos (vgr. OLIVEIRA y ANDRADE, 2007). La percepción y, consecuentemente, el uso de los espacios abiertos está muy influenciado por las condiciones microclimática (temperatura del aire, humedad, velocidad del viento, flujos de radiación), así como por parámetros personales como la edad, actividad, vestimenta o parámetros psicológicos. En todo caso, la comprensión de todas estas interrelaciones con el uso de los espacios urbanos, puede contribuir a mejorar el diseño de estos espacios y a hacerlos más atractivos (OLIVEIRA y ANDRADE, 2007).

Estos autores, en su estudio de la percepción del confort en un espacio abierto de Lisboa, encuentran que las personas se sienten confortables a temperaturas mucho más altas que las consideradas normales en los modelos de confort. También observan que la temperatura del aire es muy difícil de percibir, en parte porque es modificada por el efecto del viento. También se presentan dudas en la percepción de la humedad relativa y la radiación solar, mientras que el viento es la variable más intensamente percibida

La adaptación a los espacios abiertos

Los espacios abiertos pueden llegar a tener grandes diferencias microclimáticas, lo que influye en el grado y tipo de actividades realizadas en ellos (ZACHARIAS *et al.*, 2001; NIKOLOPOULOU *et al.*, 2001; GIVONI *et al.*, 2003). La gente se adapta activamente a las condiciones microclimáticas en estos espacios abiertos. Puede incrementar o disminuir su nivel de vestimenta, colocarse en ubicaciones adecuadas, controlar el tiempo de exposición, aumentar o disminuir su nivel de actividad, etc (PARSONS, 2002; THORSSON *et al.*, 2004). Todo ello complica la relación entre la percepción del confort y sus parámetros objetivos (mucho más cambiantes, además, que en espacios cerrados).

ELIASSON *et al.* (2007), en un estudio sobre las relaciones entre clima y comportamiento en espacios abiertos de una ciudad nórdica (Gothenburg, Suecia), confirman la hipótesis de que el tiempo atmosférico y el microclima tienen una significativa influencia en dos de los tres componentes de un lugar, el funcional y el psicológico. En el campo del componente funcional encuentran una clara relación entre las temperaturas y la afluencia de visitantes a los lugares públicos, así como con cielos claros y vientos débiles, al igual que otros autores en estudios en Escandinavia. No obstante pueden encontrarse grandes diferencias entre diversas ciudades europeas, tal como muestra el proyecto RUROS (NIKOLOPOULOU y LYKODIS, 2006).

Una línea de investigación en este sentido es la de averiguar cuáles son los factores que mejor controlan la adaptividad a los espacios abiertos. WALTON *et al.*, (2007) desarrollan un modelo de índice de confort que mide la adaptividad para alcanzar el confort en estos espacios y concluyen que las rachas máximas de viento es el factor que mejor predice la adaptividad, mientras que la temperatura ambiente es el factor menos importante.

Los espacios semiabiertos y los transicionales

Caso diferente es el de los espacios semiabiertos de uso público (como estadios, auditorios al aire libre, etc. En ellos sí que puede intentarse una modificación más profunda

de las variables ambientales de cara a obtener un espacio lo más confortable posible. Bouyer *et al.* (2007) han realizado una interesante aplicación del índice PET para analizar el confort de dos estadios (Stade de France, París y Atatürk, Estambul) concluyendo que los mapas bioclimáticos PET tienen un gran potencial. Con todo, hay que considerar que la apreciación del confort no es la misma en espacios cerrados que en espacios abiertos (*vid. ap.* "El confort y los espacios abiertos"), y este tipo de espacios suponen una transición de mayor o menor grado entre ambos extremos. Otra cuestión a considerar es la componente psicológica en la percepción del confort bioclimático objetivo, que en algunas situaciones llega a estar muy distorsionada (NIKOLOPOULOU y STEEMERS, 2003). Además, en espacios semiabiertos puede producirse una compensación entre los parámetros psicológicos, generalmente favorables (*vgr.* espectación) y la larga duración de la exposición con ausencia de estimulación ambiental (*vgr.* dificultad de moverse, claramente desfavorable). Ello hace todavía más complicado el diseño de estos espacios (BOUYER *et al.*, 2007).

Otro tipo de localizaciones que ofrecen dificultades de estudio son los espacios transicionales, que se definen como aquellas áreas que están influenciadas por el clima al aire libre, pero que arquitecturalmente están relacionadas con un edificio. Se definen tres categorías, en función de su proximidad al interior del edificio (grandes puertas de entrada, pasajes cubiertos, arcadas, etc), pero en todos los casos son el puente entre el interior y el exterior, y presentan condiciones de confort intermedias. Han sido objeto de estudios específicos recientes, como los de Chun y Tamura (1996 y 1998), Nakano *et al.* Schaelin (1999), Tsujihara *et al.* (1999), Potvin (2000), Zöld (2000), etc., y pueden consultarse dos buenas revisiones sobre el tema, la clásica de Hensen (1990) y la reciente de Chun *et al.* (2004).

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AHMED, K.S. (2003): Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings*, 35, pp. 103-110.
- ALI-TOUDERT, F. (2005): *Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate*. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Freiburg, 224 pp.
- ALI-TOUDERT, F. *et al.* (2005): Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen. Algeria. *Climate Research*, 28, pp. 243-256.
- ANGULO-CÓRDOVA, Q.; MUÑOZ, A. y BARRADAS, V.L. (2004): Estudio del bioclima humano en dieciséis localidades del estado de Tabasco mediante el índice de confort de temperatura efectiva. *Universidad y Ciencia*, 20 (40), pp. 69-80.
- ASCHOFF, J. (1970): Circadian rhythms of activity and of body temperature. En: J.D.Hardy, A.P.Gagge y J.A.J.Stolwijk (eds.) *Physiological and behavioral temperature regulation*. Thomas, Springfield, pp. 905-919.
- ASAEDA, T.; VU THANH, C.A. y AKIO, W. (1996): Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30, (3), pp. 413-427.
- ASHRAE (1966): Thermal comfort conditions. *ASHRAE standard 55.66*, New York.
- ASHRAE (2001): Chapter 8 – Comfort. En: *Handbook of Fundamentals*. American Society for Heating Refrigerating and Air Conditioning, Atlanta, pp. 8.1-8.29.
- ATTHAJARIYAKUL, S. y LEEPHAKPREEDA, T. (2005): Neural computing thermal comfort index for HVAC systems. *Energy Conversion and Management*. 46, pp. 2553-2565.

- AULICIEMS, A. y KALMA, J.D. (1979): A climatic classification of human thermal stress in Australia. *Journal of Applied Climatology*, 18, pp. 616-626.
- BLAZEJCZYK, K. (1994): New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. En K. Blazejczyk y B. Krawczyk (eds): *Bioclimatic research of the human heat balance*, Polish Academy of Sciences, Institute of Geography and Spatial Organization, Warsaw, pp. 27-58.
- BLAZEJCZYK, K. y KRAWCZYK, B. (1991): The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body. *International Journal of Biometeorology*, 35, pp. 103-106.
- BLOCKEN, B. y CARMELIET, J. (2004): Pedestrian wind environment around buildings: literature review and practical examples. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 28, pp. 107-159.
- BOULANT, J.A. y BIGNALL, K.E. (1973): Hypothalamic neuronal responses to peripheral and deep-body temperatures. *American Journal of Physiology*, 225, pp. 1371-1374.
- BOUYER, J. et al. (2007): Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95, pp. 963-976.
- BRAUNER, N. y SHACHAM, M. (1995): Meaningful wind chill indicators derived from heat transfer principles. *International Journal of Biometeorology*, 39, pp. 46-52.
- BROWN, R. y GILLESPIE, T. (1995): *Microclimatic landscape design: Creating thermal comfort and energy efficiency*. John Wiley and Sons, New York, 208 pp.
- BUDYKO, M.I. (1974): *Climate and life*. Academic Press, London, 508 pp.
- BURT, J.E. (1979): *A model of human thermal comfort and associated comfort patterns for the United States*. C.W. Thornthwaite Associates, Centerton, NJ.
- BUSTOS ROMERO, M.A. (1988): *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Sao Paulo, Projeto Editora, 123 pp.
- BUSTOS ROMERO, M.A. (1993): *Arquitetura bioclimática dos espaços públicos*. Tesis Doctoral, Barcelona, ETSAB-UPC.
- CANDAS, V.; LIBERT, J.P. y MUZET, A. (1982): Heating and cooling stimulations during SWS and REM sleep in man. *Journal of Thermal Biology*, 7, pp. 155-158.
- CANET, J. y PÉREZ CUEVA, A.J. (1998): Análisis del confort climático en Valencia. En F. Fernández García, E. Galán Gallego y R. Cañada Torrecilla (eds.): *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*, Madrid, Edit. Parteluz, pp. 343-356.
- CEGNAR, T. y MATZARAKIS, A. (2004): Trends of thermal bioclimate and their application for tourism in Slovenia. En: A. Matzarakis, C. de Freitas y D. Scott (eds), *Advances in Tourism Climatology*. Nr. 12, Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität, Freiburg, pp. 66-73.
- CLARKE, J.F. y BACH, B. (1971): Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *International Journal of Biometeorology*, 15, pp. 41-54.
- COOK, J. (1991): Searching for the Bioclimatic City. En: S. Álvarez et al. (eds.) *Architecture and Urban Space*, Proceedings of the Ninth International PLEA Conference, Londres, Kluwer Academic Publishers, pp. 7-16.
- CHANDLER, T.J. (1965): *The climate of London*. Hutchinson, London, 292 pp..
- CHANDLER, T.J. (1976): Urban climatology and its relevance to urban design. *WMO*, Tech. Note 483, Geneve.
- CHANG, P.C.; WANG, P.N. y LIN, A. (1971): Turbulent diffusion in a city street. *Proceedings of the Symposium on Air Pollution and Turbulent Diffusion*, 7-10 December 1971, Las

- Cruces, New Mexico, pp. 137-144.
- CHÁVEZ DEL VALLE, F.J. (2002): *Zona variable de confort térmico*. Tesis Doctoral, Barcelona, UPC, 182 pp.
- CHOW, S.D. (1986): Some aspects on the urban climate of Shanghai. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 87-109.
- CHUECA GOITIA, F. (1970): *Breve historia del urbanismo*. Madrid, Alianza.
- CHUN, C.; KWOK, A. y TAMURA A. (2004): Thermal comfort in transitional spaces—basic concepts: literature review and trial measurement. *Building and Environment*, 39, pp. 1187-1192.
- CHUN, C., y TAMURA, A. (1996): Thermal environment and the characteristics of thermal sensation vote in half opened spaces. *Indoor Air '96, Proceedings of the Seventh International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, vol. 2, July 21-26, pp. 583-588.
- CHUN, C., y TAMURA, A. (1998): Thermal environment and human responses in underground shopping malls vs. department stores in Japan *Building and Environment*, 33, pp. 151-158.
- DEAR R. J. DE Y AULICIEMS, A. (1985): Validation of the predicted mean vote model of thermal comfort in six Australian field studies. *ASHRAE Trans.*, 91(2), pp. 452-468.
- DEAR, R.J. DE Y PICKUP, J. (2001): An outdoor thermal environment index (OUT SET*) — applications. En: R.J. de Dear *et al.* (eds.), *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium: A Selection of Papers from the International Conference on Urban Climatology and the International Congress on Biometeorology (ICB-ICUC'99)*, WCASP-50, WMO/TD-No. 1026. World Meteorological Organization, Geneva.
- DIXON, J.C. y PRIOR, M.J. (1987): Wind-chill indices – a review. *Meteorological Magazine*, 116, pp. 1-15.
- ELIASSON, I. (2000): The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 48, pp. 31-44.
- ELIASSON, I. *et al.* (2007): Climate and behaviour in a Nordic city. *Landscape and Urban Planning*, 82, pp. 72-84.
- EVANS, J.M. y SCHILLER, S. (1991): Climate and Urban Planning: The Example of the Planning Code for Vicente López, Buenos Aires. *Energy and Buildings*, Vol. 15, pp. 35-41.
- FANGER, P.O. (1970): *Thermal comfort; Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill Book Co, New York.
- FANGER, P.O. (1972): *Thermal comfort*. McGraw-Hill, New York.
- FANGER, P.O.; HOJBJERRE, J. y THOMSEN, J.O.B. (1974): Thermal comfort conditions in the morning and in the evening. *International Journal of Biometeorology*, 18, pp. 16-22.
- FIALA, D.; LOMAS, K.J. y STOHRER, M. (1999): A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. *Journal of Applied Physiology*, 87, pp. 1957-1972.
- FIALA, D.; LOMAS, K.J. y STOHRER, M. (2001): Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*, 45, pp. 143-159.
- FOUNTAIN, M.E. y HUIZENGA, C. (1996): *WinComf: A Windows 3.1 Thermal Sensation Model — User's Manual*. Environmental Analytics, Berkeley.
- FREITAS, C.R. DE *et al.* (1985): Microclimate and heat stress of runners in mass participation events. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24, pp. 184-191.

- FREITAS, C.R. DE (2001): Theory, concepts and methods in climate tourism research. En: A.Matzarakis, y C.R. de Freitas CR (eds.), *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Neos Marmaras, Halkidiki, Greece, 5–10 October 2001. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation, pp. 3-20.
- GADI, M.B. (2000): A new computer program for the prediction and analysis of human thermal comfort. *Applied Energy*, 65, pp. 315-320.
- GAGGE, A.P.; STOLWIJK, J.A.J. y NISHI, Y. (1969): The prediction of thermal comfort when thermal equilibrium is maintained by sweating. *ASHRAE Trans.*, 75, pp. 108-125.
- GAGGE, A.P. et al. (1971): A practical system of units for the description of heat exchange of man with his environment. *Science*, 94, pp. 428-430.
- GILES, B.D.; BALAFOUTIS, C.H. y MAHERA, P. (1990): Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*, 34, pp. 98-104.
- GIVONI, B. (1976): *Man, Climate and Architecture*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- GIVONI, B. (1986): Design for climate in hot dry cities. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 487-513.
- GIVONI, B. (1989): *Urban design for different climates*. World Meteorological Organization. Report WMO-TD, N° 346.
- GIVONI, B. et al. (2003): Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, 35, pp. 77-86.
- GÓMEZ LOPERA, F.; GAJA, E. y REIG, A. (1998): Vegetation and climatic changes in a city. *Ecological Engineering*, Vol. 10, No 4. pp. 355-360.
- GÓMEZ LOPERA, F.; GIL, L. y JABALOYES, J. (2004): Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Building and Environment*, 39, pp. 1077-1086.
- GÓMEZ LOPERA, F.; TAMARIT, N. y JABALOYES, J. (2001): Green zones, bioclimatics studies and human comfort the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 55, pp. 151-161.
- GÓMEZ MARTÍN, M.B. (2004): An evaluation of the tourist potential of the climate in Catalonia (Spain): a regional study. *Geografiska Annaler*, 86, 3, pp. 249-264.
- GONZÁLEZ, R.R. (2004): SCENARIO revisited: comparison of operational and rational models in predicting human responses to the environment. *Journal of Thermal Biology*, 29, pp. 515-527.
- GORDON, R.G. (1974): *The response of human thermoregulatory system in the cold*. PhD Thesis, University of California.
- GREYER, W.F. et al. (1971): Effects of combined heat, noise and vibration stress on human performance and physiological functions. *Aerospace Medicine*, 42, pp. 1092-1097.
- GULYÁS, A.; UNGER, J. y MATZARAKIS, A. (2006): Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41, pp. 1713-1722.
- GULYÁS, A. et al. (2003): Analysis of the bioclimatic conditions within different surface structures in a medium-sized city (Szged, Hungary). *Acta Climatologica et Chronologica*, Universitatis Szegediensis, Tom. 36-37, pp. 37-44.
- HARDY, J.D.; GAGGE, A.P. y STOLWIJK, J.A.J. (eds.) (1970): *Physiological and behavioral temperature regulation*. Thomas, Springfield, 944 pp.
- HARTZ, D.A.; BRAZEL, A.J. y HEISLER, G.M. (2006): A case study in resort climatology of

- Phoenix, Arizona, Usa. *International Journal of Biometeorology*, 51, pp. 73-83.
- HAUSER, P. (1979): *Madrid bajo el punto de vista médico-social*. Editora Nacional, Madrid.
- HAVENITH, G. (2001): Individualised model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal of Applied Physiology*, 90, pp. 1943-1954.
- HENSEN, J.L.M. (1990): Literature review on thermal comfort in transient conditions. *Building and Environment*, 25, pp. 309-316.
- HENTSCHEL, G. (1986): A human biometeorology classification of climate for large and local scales. *Climate and Human Health*. Proceedings of the Symposium in Leningrad, Volume I, 22-26 September, pp. 120-138.
- HÖPPE, P. (1993): Heat balance modelling. *Experientia*, 49, pp. 741-746.
- HÖPPE, P. (1999): The Physiological Equivalent Temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, pp. 71-75.
- HÖPPE, P. (2002): Different aspect of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34, pp. 661-665.
- HÖPPE, P. y MAYER, H. (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft Stadt*, 19, pp. 22-29.
- HOUGHTON, F. y YAGLOU, C. (1923): Determination of the comfort zone. *ASHVE Journal*, 29, pp. 515-536.
- HOYDYSH, W. y DABBERT, W.F. (1988): Kinematics and dispersion characteristics of flows in asymmetric street canyons. *Atmospheric Environment*, 22, (12), pp. 2677-2689.
- HUIZINGA, C.; ZANG, H. y ARENS, E. (2001): A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. *Building and Environment*, Vol. 36, 6, pp. 691-699.
- JÁUREGUI, E. (1986): Tropical urban climates: Review and assessment. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 26-45.
- JENDRITZKY, G. y NUBLER, W. (1981): A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 29, pp. 313-326.
- JENDRITZKY, G. et al. (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen- das fortgeschrittenen Klima-Michel-Modell. *Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, Hannover, 114.
- KARACAN, I. et al. (1978): Effects of high ambient temperature on sleep in young men. *Aviat Space Environ. Med.*, 49, pp. 855-860.
- KESSLER, E. (1993): Wind chill errors. *Bull. American Meteorological Society*, 74, pp. 1743-1744.
- KNES, I. y THORSSON, S. (2006): Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International Journal of Biometeorology*, 50, pp. 258-268.
- KOENIGSBERGER, O. H. et al. (1973): *Manual of Tropical Housing and Building Design: Part 1, Climatic Design*. London, Longman, 336 pp.
- KRATZER, A. (1937): *Das Stadtklima*. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 143 pp.
- KRAWCZYK, B. (1994): Evaluation of bioclimate of Poland on the basis of modified Budyko's model of the human body heat balance. En K. Blazejczyk y B. Krawczyk (eds.): *Bioclimatic research of the human heat balance*, Polish Academy of Sciences, Institute of Geography and Spatial Organization, Warsaw, pp. 13-26.
- KWI-GON, K. (1989): *Climate, urbanization, and green spaces in urban areas. The case of Seoul*.

- MAB-Unesco, Korean National MAB, University of Seoul, Paris.
- KYLE, W.J. (1992): Summer and winter patterns of human thermal stress in Hong Kong. En: W.J.Kyle y C.P.Chang (eds.): *Proceedings of the 2nd International Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate*, Hong Kong, World Scientific, pp. 575-583.
- KYLE, W.J. (1994): The human bioclimate of Hong Kong. En: R.Brazdil y M.Kolár (eds.): *Proceedings of the Contemporary Climatology Conference*, Brno, TISK LITERA, pp. 345-350.
- LALLY, V.E. y WATSON, B.F. (1960): Humiture revisited. *Weatherwise*, 13, pp. 254-256.
- LANDSBERG, B.H. (1981): *The urban climate*. New York, Academy Press, 275 pp.
- LANDSBERG, H.E. (1986): Problem of design for cities in the tropics. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 461-472.
- LASCHEWSKI, G. y JENDRITZKY, G. (2002): Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Climate Research*, 21, pp. 91-103.
- LEE, I.Y.; SHANNON, J.D. y PARK, H.M. (1994): Evaluation of parameterizations for pollutant transport and dispersion in an urban street canyon using a three-dimensional dynamic flow model. *Proceedings of the 87th Annual Meeting and Exhibition*, Cincinnati, OH, pp. 19-24.
- LIN, T.P. y MATZARAKIS, A. (2007): Tourism climate and TERMAL comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology*, en prensa.
- LINDQVIST, S. y MATSSON, J.O. (1989): Planning—topography and climate. Topoclimatic maps for different planning levels: some Swedish examples. *Building Research and Information*, 17, 5, pp. 299-304.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1985): El clima de las ciudades. *Arbor: Ciencia, Pensamiento y cultura*, 474, pp. 13-32.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. et al. (1993): *El clima de las ciudades españolas*. Ed. Cátedra. Madrid. 268 pp.
- LOTENS, W.A. (1993): *Heat transfer from humans wearing clothing*. PhD Thesis, Technical University Delft.
- LYLE, D.M. et al. (1994): Heat exhaustion in the Sun-Herald City to Surf fun run. *The Medical Journal of Australia*, 161(6), pp. 361-365.
- LYNCH, K. (1980): *A Imagem da Cidade*. São Paulo, Martins Fontes, 236 pp.
- MARKEN LICHTENBELT, W.D. VAN et al. (2002): Individual variation in body temperature and energy expenditure in response to mild cold. *American Journal of Physiology*, 282, pp. E1077-E1083.
- MARKEN LICHTENBELT, W.D. VAN et al. (2007): Validation of an individualised model of human thermoregulation for predicting responses to cold air. *International Journal of Biometeorology*, 51, pp. 169-179.
- MARTENS, W.J.M. (1998): Climate change, thermal stress and morbidity changes. *Social Science and Medicine*, 46(3), pp. 331-344.
- MASTERTON, J. y RICHARDSON, F. (1979): *Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity*. Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, CLI, 79 pp.
- MATSUMOTO, T. et al. (1999): Autonomic responsiveness to acute cold exposure in obese and non-obese young women. *International Journal of Obesity*, 23, 8, pp. 793-800.

- MATZARAKIS, A. (2002): Validation of modelled mean radiant temperature within urban structures. *Fourth Symposium on Urban Environment*, AMS, Norfolk, USA, pp. 172-173.
- MATZARAKIS, A.; FREITAS, C. DE y SCOTT, D. (2004): *Advances in tourism climatology*. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität, Freiburg, 259 pp.
- MATZARAKIS, A. y MAYER, H. (2000): Atmospheric conditions and human thermal confort in urban areas. *11th Seminar on Environmental Protection Environment and Health*, 20-23 November, Thessaloniki, Greece, pp. 155-166.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H., y IZIOMON, M. (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, pp. 76-84.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H. y RUTZ, F. (2002): Radiation and thermal comfort. *6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Ioannina, 25-28 September 2002, vol.2, pp. 738-744.
- MATZARAKIS, A. y RUTZ, F. (2006): Application of Rayman for tourism and climate investigations. *Annalen der Meteorologie*, 41, vol.2, pp. 631-636.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F. y MAYER, H. (2000): Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. En: R.J. de Dear *et al.* (eds.) *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millennium*, ICB-ICUC'99, Sydney 8-12 November 1999, WMO/TD, N°1026, Geneva, pp. 273-278.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F. y MAYER, H. (2006): Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model. *PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Geneva, Switzerland, 6-8 September, pp. 449-453.
- MAYER, H. y HÖPPE, P. (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38, pp. 43-49.
- MAYER, H. y MATZARAKIS, A. (1997a): The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology. *Proceedings of the international symposium on monitoring and management of urban heat island*, Fujisawa, Japan, pp. 84-95.
- MAYER, H. y MATZARAKIS, A. (1997b): Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. *Proceedings of the international symposium on monitoring and management of urban heat island*, Fujisawa, Japan, pp. 155-168.
- MCCANN, D.J. y ADAMS, W.C. (1997): Wet bulb globe temperature index and performance in competitive distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(7), pp. 955-961.
- MCHARG, I.L. (1969): *Design with Nature*. New York, Doubleday/Natural History Press, 198.
- MILLS, G. (1997): An Urban Canopy-Layer Climate Model. *Theoretical and Applied Climatology*, 57, pp. 229-244.
- MILLS, G. (1999): Urban Climatology and Urban Design. ICUC. *International Conference on Urban Climatology in Sydney, Australia*, 8-12 November. Extended abstracts.
- MILLS, G. (2006): Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, pp. 69-76.
- MISSENAARD, A. (1937): *L'homme et le climat*. Paris, Librairie Plon, 240 pp.
- MOCHIZUKI, E. *et al.* (1998): Subjective response to combined discomfort conditions with windows. En: ICHES'98 Organizing Committee (Ed.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Human-Environment System*, Yokohama, pp. 243-246.
- MONTEIRO, C.A. de F. (1986): Some aspects of the urban climates of Tropical South America: The Brazilian contribution. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its appli-*

- cations with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 166-198.
- MONTEIRO, C.A. de F. (1990): Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *Geosul*, 9, pp. 61-79.
- MORGAN, D.L. y BASKETT, R.L. (1974): Comfort of man in the city. An energy balance model of man-environment coupling. *International Journal of Biometeorology*, 18(3), pp. 184-198.
- NAGANO, K. y HORIKOSHI, T. (2001): New index of combined effect of temperature and noise on human comfort: summer experiments on hot ambient temperature and traffic noise. *Archives of Complex Environmental Studies*, 13 (3-4).
- NAGANO, K. y HORIKOSHI, T. (2005): New comfort index during combined conditions of moderate low ambient temperature and traffic noise. *Energy and Buildings*, 37, pp. 287-294.
- NAKAMURA, Y. y OKE, T.R. (1988): Wind, temperature and stability conditions in an E-W oriented urban canyon. *Atmospheric Environment*, 22, pp. 2691-2700.
- NAKANO, J.H. et al. (1999): Field investigation on the transient thermal comfort buffer zones from outdoor to indoor. Indoor Air '99, *Proceedings of the Eighth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, vol. 2, pp. 172-177.
- NEDEL, A.S.; DE SOUSA, M. y TEIXEIRA C.F.L. (2006): Comparative analysis of different human thermal comfort indexes in Sao Paulo city and their relationship with respiratory morbidity. *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguacu, Brazil, April 24-28, INPE, pp. 675-677.
- NG, E. (2006): Air ventilation assessment system for high density planning and design. *Proceedings of PLEA International Conference*, pp. 1-6.
- NIEWOLT, T.R. (1986): Design for climate in hot humid cities. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 514-534.
- NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N. y STEEMERS, K. (2001): Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70, (3), pp. 227-235.
- NIKOLOPOULOU, M. y LYKODIS, S. (2006): Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41, pp. 1455-1470.
- NIKOLOPOULOU, M. y STEEMERS, K. (2003): Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35, pp. 95-101.
- NÚÑEZ, M. y OKE, T.R. (1977): The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16, pp. 11-19.
- OCHOA DE LA TORRE, J.M. (1999): *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Tesis Doctoral, Barcelona, UPC.
- OLGYAY, V. (1963): *Design with Climate*. Princeton University Press, Princeton, USA, 190 pp.
- OLGYAY, V. (1988): *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Edit. Gustavo Gili, Barcelona, 204 pp.
- OLIVEIRA, P.M.P. (1988): *Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano*. Dissertação de Mestrado-Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília. Ed. UnB.
- OLIVEIRA, S. y ANDRADE, H. (2007): An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon. *International Journal of Biometeorology*, 52, pp. 69-84.

- OKAMOTO-MIZUNO, K. *et al.* (1999): Effects of humid heat exposure on human sleep stages and body temperature. *Sleep*, 22, pp. 767-773.
- OKE, T.R. (Ed.) (1986a): *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*. Proceedings of the technical conference, Mexico D.F., WMO, N°652, 533 pp.
- OKE, T.R. (1986b): Urban climatology and the tropical city. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 1-25.
- OKE, T.R. (1988): Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11, pp. 103-113.
- OIJEN, A.M.J. VAN *et al.* (2004): Seasonal changes in metabolic and temperature responses to cold air in humans. *Physiology and Behavior*, 82, pp. 545-553.
- PARSONS, K.C. (2002): The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34, pp. 593-599.
- PAUL, F.T. DE y SHIEH, C.M. (1986): Measurements of wind velocities in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 20, pp. 455-459.
- PIELKE, R.A. y ULIASZ, M. (1998): Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models-limitations and strengths. *Atmospheric Environment*, 32, pp. 1455-1466.
- POTVIN, A. (2000): Assessing the microclimate of urban transitional spaces. *Proceedings of Passive Low Energy Architecture*, pp. 581-586.
- RAJA, I.A. y VIRK, G.S. (2001): Thermal comfort in urban open spaces: a review. *Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, pp. 342-352.
- RAMANATHAN, N.I. (1964): A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology*, 19, pp. 531-533.
- RAYMANN, R.J.; SWAAB, D.F. y SOMEREN, E.J. VAN (2005): Cutaneous warming promotes sleep onset. *American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 288(6), pp. R1589-R1597.
- REGISTER, R. (1987): *Ecocity Berkeley, Building Cities for a Healthy Future*. North Atlantic Books, Berkeley, California, 140 pp.
- ROBAA, S.M. (2003): Urban-suburban/rural differences over Greater Cairo, Egypt. *Atmosfera*, 2003, pp. 157-171.
- SAD DE ASSIS, E. y BARROS FROTA, A. (1999): Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 4135-4142.
- SAGOT, J.C. *et al.* (1987): Sweating responses and body temperatures during nocturnal sleep in humans. *American Journal of Physiology*, 252, pp. R462-R470.
- SALVADOR, P. J. y SMITH, D.R. (1987): *Vegetation and urban climate in Valencia, Spain*. A pilot Project, Mab-Unesco.
- SÁNCHEZ DE CARMONA, L. (1986): Human comfort in the urban tropics. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 354-404.
- SANTAMOURIS, M. *et al.* (1999): Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 4503-4521.
- SCHAELEIN, A. (1999): Comfort problems in indoor spaces open to the outdoor environment. *Indoor Air '99, Proceedings of the Eighth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, vol. 2, p. 154-159.
- SIMPSON, J.R. (1998): Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use:

- Sacramento county case study. *Journal of Arboric*, 24, pp. 201-214.
- SIPLE, P.A. y PASSEL, C.H. (1945): Measurement of dry atmosphere cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89, pp. 177-199.
- SOMEREN, E.J. VAN (2004): Sleep propensity is modulated by circadian and behavior-induced changes in cutaneous temperature. *Journal of Thermal Biology*, 29, pp. 437-444.
- SOMEREN, E.J. VAN (2006): Mechanisms and functions of coupling between sleep and temperature rhythms. *Prog. Brain Res.*, 153, pp. 309-324.
- SOMEREN, E.J. VAN *et al.* (2002): Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Res. Rev.*, 1, pp. 721-778.
- SORRE, M. (1943): *Les fondements biologiques de la géographie humaine*. 3 vols. Vol.1°: *Essai d'une ecologie de l'homme*. A.Colin, Paris, 435 pp.
- SOUCH, C.A. y SOUCH, C. (1993): The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, Indiana. *Journal of Arboric*, 19, pp. 303-312.
- SPAGNOLO, J. C. y DEAR, R. J. DE (2003a): A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney, Australia. *Building and Environment*, 38, pp. 721-738.
- SPAGNOLO, J. C. y DEAR, R. J. DE (2003b): A human thermal climatology of subtropical Sydney. *International Journal of Climatology*, 23, pp. 1383-1395.
- SPILLER, M. (1993): *Roof gardens and green façades for the improvement of urban environments*. Thesis B. L. Arch., University of NSW.
- STATHOPOULOS, T.; WU, H. y ZACHARIAS, J. (2004): Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment*, 39, pp. 297-305.
- STEADMAN, R.G., (1965): *Simultaneous heat and moisture transfer through clothing textiles in the presence of wind*. Ph.D. Thesis, University of South Wales, 202 pp.
- STEADMAN, R.G., (1971): Indices of windchill of clothed persons. *Journal of Applied Meteorology*, 10, pp. 674-683.
- STEADMAN, R.G., (1979a): The assessment of sultriness. Part I: A Temperature-Humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*, 18, pp. 861-873.
- STEADMAN, R.G., (1979b): The assessment of sultriness. Part II: Effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *Journal of Applied Meteorology*, 18, pp. 874-885.
- STOLWIJK, J.A.J. (1971): *A mathematical model of physiological temperature regulation in man*. NASA-CR-1855, Washington, DC, 77 pp.
- SUKOPP, H. y WERNER, P. (1982): *Nature in cities. A report and review of studies and experiments concerning ecology, wildlife and nature conservation in urban and suburban areas*, Strasbourg, Council of Europe SN-PM (82) 3, 43 pp.
- SVENSSON, M.K. y ELIASSON, I. (2002): Diurnal air temperatures in built-areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61, pp. 37-54.
- SVENSSON, M.K.; ELIASSON, I. y HOLMER, B. (2002a): A GIS based empirical technique to model air temperature variations in the Göteborg urban area during the night. *Climate Research*, 22, 3, pp. 215-226.
- SVENSSON, M.K.; THORSSON, S. y LINDQVIST, S. (2002b): A GIS model for creating bioclimatic maps—examples from a high latitude city. *International Journal of Biometeorology*, 47, 2, pp. 102-112.
- SVENSSON, M.K.; THORSSON, S. y LINDQVIST, S. (2003): A geographical information system

- model for creating bioclimatic maps—examples from a high, mid-latitude city. *International Journal of Biometeorology*, 47, pp. 102-112.
- TERJUNG, W.H. (1966): Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based of man. *Annals of the Association of American Geographers*, 56 (1), pp. 141-179.
- TERJUNG, W.H. y O'ROURQUE, P.A. (1981): Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures. *Boundary-Layer Meteorology*, 21. pp. 255-263.
- THAMM, H.P. *et al.* (1999): Conflicting interests of planners, politicians and scientists in urban climatology as an example of Freiburg. En: *Proceedings of the Conference ICB-ICUC'99, Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium*, 8–11 August, Sydney, Conference abstract, ICUC12.2.
- THOM, E.C. (1957): A new concept for cooling degree days. *Air Conditioning, Heating and Ventilation*, 54/6, pp. 73-80.
- THOM, E. C. (1959): The discomfort index. *Wetherwise*, 12, pp. 57-60.
- THORSSON, S.; LINDQVIST, M. y LINDQVIST, S. (2004): Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48, pp. 149-156.
- THORSSON, S. *et al.* (2007): Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public spaces. *Environment and Behavior*, Vol. 39, 5, pp. 660-684.
- TOY, S.; YILMAZ, S. y YILMAZ, H. (2007): Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. *Building and Environment*, 42, pp. 1315-1318.
- TSUJIHARA, M.; NAKAMURA, Y. y TANAKA, M. (1999): Proposal of evaluation method of thermal environment inside semi-outdoor space in city from viewpoint of geographical difference. *Journal of Architectural Planning and Environmental Engineering*, Architectural Institute of Japan, 419, pp. 101-108.
- TSUZUKI, K.; OKAMOTO-MIZUNO, K. y MIZUNO, K. (2004): Effects of humid heat exposure on sleep, thermoregulation, melatonin, and microclimate. *Journal of Thermal Biology*, 29, pp. 31-36.
- TSUZUKI, K. *et al.* (2007): Effects of airflow on body temperatures and sleep stages in a warm humid climate. *International Journal of Biometeorology*, original paper.
- TULLER, S.E. (1990): Standard seasons. *International Journal of Biometeorology*, 34, pp. 181-188.
- TULLER, S.E. (1997): Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime onshore wind. *International Journal of Biometeorology*, 41, 26-33.
- UNGER, J. (1999): Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *International Journal of Biometeorology*, 43, pp. 139-144.
- VDI (1998) : Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level. En: *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft*, Bd. 1 b. Beuth Publishing House.
- VILAS BOAS, M. (1983): *Adaptação da Arquitetura ao Clima*. Brasília: FAU-UnB, 1982. (mimeo): Controle do Ambiente em Arquitetura. Brasília: MEC-CAPES.
- VILAS BOAS, M. y OLIVEIRA, P.M.P. (1986): A Dimensão Ambiental. En: *Dimensões Morfológicas do Processo de Urbanização*, Brasília, Relatório de Pesquisa, UnB/FINEP.
- VITELES, M.S. y SMITH, K.R. (1946): An experimental investigation of the effect of change in atmospheric conditions and noise upon performance. *ASHVE Transactions*, 52, pp. 167-182.

- WALTON, D.; DRAVITZKI, V. y DONN, M. (2007): The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces. *Building and Environment*, 42, pp. 3166-3175.
- WAKELY, P.I. (1978): *Diseño y confort térmico en climas cálidos. Un texto de aprendizaje programado para arquitectos*, Universidad de los Andes, Mimeo, Bogotá.
- WATERS, T.A. (2001): Heat illness: tips for recognition and treatment. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 68(8), pp. 685-687.
- WISSLER, E.H. (1985): Mathematical simulation of human thermal behavior using whole body models. En: Shitzer A, Eberhart RC (eds.) *Heat transfer in medicine and biology. Analysis and applications*. Plenum, New York, pp. 325-373.
- YAGLOU, C.P. (1949): Indices of comfort. En: L.H. Newburgh (ed.), *Physiology of heat regulation and the science of clothing*, Saunders, Philadelphia, pp. 277-287.
- YAMAZAKI, K. et al. (1998): The effects of temperature, light, and sound on perceived work environment. *ASHRAE Transactions*, 104 (1A), pp. 711-720.
- YAMARTINO, R.J. y WIEGAND, G. (1986): Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollution concentration fields within an urban street canyon. *Atmospheric Environment*, 20, pp. 2137-2156.
- YOKLIC, M.; CHALFOUN N. V. y THOMPSON T. L. (1991): Planning for Visitor Comfort, Outdoors, at the United States Pavilion, EXPO '92, Seville, Spain. PLEA'91, *Ninth International Conf. on Passive and Low Energy Architecture*, Seville, Spain, Sep. 24-27.
- YOSHINO, M.M. (1975): City. En: *Climate in a small area*, University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 80-119.
- ZACHARIAS, J.; STATHOPOULOS, T. y WU, H. (2001): Microclimate and downtown open space activity. *Environment and Behavior*, 33, pp. 296-315.
- ZHANG, H. et al. (2001): Considering individual physiological differences in a human thermal model. *Journal of Thermal Biology*, 26, pp. 401-408.
- ZÖLD, A. (2000): Thermal comfort at transient conditions. *Proceedings of Passive Low Energy Architecture*, pp. 587-592.

OTRA BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- ÁLVAREZ, S. *et al.* (1992): *Control climático en espacios abiertos*. El proyecto EXPO'92.
- AULICIEMS, A. (1992): Greenhouse warmed Europe: thermoregulatory criteria for future indoor climate management. *International Journal of Biometeorology*, 36, pp.201-209.
- BÄRRING, L. *et al.* (1985): Canyon geometry, street temperatures and urban heat islands in Malmö, Sweden. *International Journal of Climatology*, 5, pp.433-444.
- BOURBIA, F. y AWBI, H.B. (2004): Building cluster and shading in urban canyon for hot-dry climate. Part 2: Shading simulations. *Renewable Energy*, 29, pp.291-301.
- BRUSE, M. y FLEER, H. (1998): Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 13, pp.373-384.
- BRUSE, M. (2000): Assessing thermal comfort in urban environments using an integrated dynamic microscale biometeorological model system. *3rd Symposium on the Urban Environment*, Davis, CA, American Meteorological Society, pp. 159-160.
- BRUSE, M. (2004): ENVI-met website. <http://www.envi-met.com>.
- ELIASSON, I. y HOLMER, B. (1990): Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, pp. 187-196.
- ELIASSON, I. (1992): Infrared thermography and urban temperature patterns. *International Journal of Remote Sensing*, 13 (5), pp. 869-879.
- ELIASSON, I. (1993): *Urban climate related to street geometry*. PhD thesis. University of Gothenburg. Dept. Phy. Geogr. GUNI rapport 33.
- ELIASSON, I. (1994): Urban-suburban-rural air temperature differences, related to street geometry. *Physical Geography*, 15, pp. 11-22.
- ELIASSON, I. y UPMANIS, H. (2000): Nocturnal air flow from urban parks - implications for city ventilation. *Theoretical and Applied Climatology*, 66, pp. 95-107.
- FUKUOKA, Y. (1997): Biometeorological studies on urban climate. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 40, 1, pp. 54-57.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1995): *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Ed. Síntesis, Madrid.
- GAGGE, A.P.; FOBELETS A.P. y BERGLUND L.G. (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*, 92, pp. 709-731.
- GAGGE, A.P.; STOLWIJK, J.A.J. y NISHI, Y. (1971): An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, 77, pp. 247-257.
- GOLDREICH, Y. y SURRIDGE, A.D. (1988): A case study of low level country breeze and inversion heights in the Johannesburg area. *International Journal of Climatology*, 8, pp. 55-66.
- GÓMEZ, F.; TAMARIT, N. y JABALOYES, J. (1999): Bioclimatics characterisation of the Mediterranean City: the Valencia case. Plea'99, ed. Steven Szokolay, Brisban, pp. 807-812.
- HAEGER-EUGENSSON, M. y HOLMER, B. (1999): Advection caused by the UHIC as a regulating factor on the nocturnal UHI. *International Journal of Climatology*, 19, pp. 975-988.
- HEISLER, G.M. y WANG, Y. (2002): Applications of a human thermal comfort model. *Fourth Symposium on the Urban Environment*, 20-24 May 2002, Norfolk, VA (American Meteorological Society), pp. 70-71.
- HOLMER, B. y ELIASSON, I. (1999): Urban-rural vapour pressure differences and their role

- in the development of urban heat islands. *International Journal of Climatology*, 19, pp. 989-1009.
- HÖPPE, P. (1997): Aspects of human biometeorology in past, present and future. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 40, Issue 1, pp. 19-23.
- HOSKER, R.P.J. (1985): Flow around isolated structures and building clusters: a review. *ASHRAE Transactions*, 91, pp. 1671-1692.
- JAUREGUIL, E. (1997): The last Ms for 40th anniversary issue. Aspects of urban human biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 40, 1, pp. 58-61.
- JENDRITZKY, G.; SÖNNING, W. y SWANTES, H. J. (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Modell). *Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, 28. Hermann Schroedel, Hannover.
- JOHANSSON, E. y EMMANUEL, R. (2006): The Influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology*, 51, pp. 119-133.
- LEE, D. (1987): Ill wind in the streets. *The Geographical Magazine*, pp. 348-351.
- MAYER, M. (1993): Urban bioclimatology. *Experientia*, 49, pp. 957-963.
- MCPHERSON, E.G.; ROWNTREE, R.A. y WAGAR, J.A. (1994a): *Energy efficient landscapes. Urban Forest Landscapes: integrating multidisciplinary perspectives*. University of Washington Press. Seattle, pp. 150-160.
- MCPHERSON, E.G.; NOWAK, D.J. y ROWNTREE, R.A. (1994b): Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. *USDA forest service*. General Technical report NE-186.
- MCPHERSON, E.G. y SIMPSON, J.R. (1995): Shade trees as a demand - side resource. *Home energy*, 2, pp. 11-17.
- NAGARA, K.; SHIMODA, Y. y MIZUNO M. (1996): Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space. *Atmospheric Environment*, 30, pp. 497-505.
- OKE, T.R. (1973): City size and the urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, 7, pp. 769-779.
- OKE, T.R. (1981): Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology*, 1, pp. 237-254.
- OKE, T.R. (1987): *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- O'ROURQUE, P.A. y TERJUNG, W.H. (1981): Urban Parks, energy budgets and surface temperatures. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology*, Ser. B, 29, pp. 327-344.
- PARK, H-S. (1987): City size and urban heat island intensity for Japanese and Korean cities. *Geographical Review of Japan*, 60, pp. 238-250.
- PEARLMUTTER, D.; BITAN, A. y BERLINER, P. (1999): Microclimatic analysis of compact urban canyons in an arid zone. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 4143-4150.
- PICKUP, J. (1998): An outdoor human thermal comfort index & heat stress warning system for use in a public weather system. *School of Earth Sciences*, Macquarie University, Sydney.
- PICKUP, J. y DEAR, R.J. DE (1999): An outdoor thermal comfort index (OUTSET*): Part I-The model and its assumptions. *Proceedings of 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Macquarie University, Sydney, Australia, pp. 279-281.
- RHOLES, F.H. (1980): The preferred indoor comfort temperatures. (Report No. 80-02),

- Institute for Environmental Research*, Kansas State University, Manhattan, KS.
- RIDD, M.K. (1992): *Exploring a V-I-S (Vegetation-Impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing*. Utah University, Center for Remote Sensing, 23 pp.
- SHASHUA-BAR, L. y HOFFMAN M.E. (2000): Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. *Energy and Buildings*, 31, pp. 221-235.
- SHUDO, H. *et al.* (1997): A study on temperature distribution influenced by various land uses. *Energy Buildings*, 26, pp. 199-205.
- SWAID, H.; BAR-EL, M. y HOFFMAN, M. E. (1993): A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces. *Theoretical and Applied Climatology*, 48, pp. 49-61.
- SZOKOLAY, S.V.. (1984): *Regional Monograph. Australia. PLEA'84*, Mexico City, pp. 396-406.
- THOMAS, R. (2003): *Sustainable urban design, an Environmental approach*. Spon Pr., London. pp. 208.
- WANG, Y. (2003): *An Analysis of an Expert System Used to Predict Human Thermal Comfort in Outdoor Urban Settings*. PhD Dissertation, State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, NY.
- WATSON, D. y LABS, K. (1983): *Climatic design, energy-efficient building principles and practices*. MacGraw-Hill Book Company, New York.
- WATSON, I.D. y JOHNSON, G.T. (1987): Graphical estimation of sky view factors in urban environments. *International Journal of Climatology*, 7, pp. 193-197.