PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE CONFORT RELATIVO DIARIO PARA DETERMINAR LOS EXTREMOS TÉRMICOS EN LA ESPAÑA PENINSULAR

POR

FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA

Introducción

La bioclimatología estudia las interacciones entre los procesos atmosféricos y los seres vivos. La agroclimatología y la fitoclimatología son las dos ramas que han tenido un mayor y más temprano desarrollo dentro de este campo, debido a la clara influencia del clima sobre la vegetación y los cultivos, así como a la relativa facilidad con la que se puede establecer los umbrales climáticos en los que se desenvuelven las distintas especies vegetales. Buen ejemplo de ello son las clasificaciones climáticas clásicas, como las de Köppen, Papadakis o Thorthwaite, que, en realidad, describen los «ambientes climáticos» de las distintas especies vegetales.

El desarrollo de la bioclimatología humana ha sido más tardío y los estudios sobre la confortabilidad y el bienestar térmico han tenido un carácter más puntual, debido a las especiales características de las relaciones del hombre con su entorno. En efecto, ante situaciones climáticas similares, las sensaciones que el hombre experimenta pueden ser muy diferentes, debido a la influencia de factores individuales de carácter psicológico y físico; también influye su capacidad de adaptación y los mecanismos de defensa que los grupos humanos han desarrollado para hacer frente a las condiciones ambientales adversas.

En la actualidad los estudios de bioclimatología humana han conocido un nuevo impulso debido a un conjunto de causas, entre las que po-

Felipe Fernández García. Dpto. de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

dríamos destacar: los nuevos problemas ambientales surgidos como consecuencia del desarrollo industrial y urbano, la constatación de que el clima influye directamente sobre la mortalidad y morbilidad y el avance y perfeccionamiento de los modelos que tratan sobre el intercambio de calor entre el cuerpo y su entorno. El campo de actuación se ha ampliado y entre las líneas de interés prioritario, la Organización Biometeorológica Mundial destaca:

— El análisis y evaluación de la incidencia del clima y su variabilidad sobre el estrés, la morbilidad y la mortalidad del hombre;
— Las relacionadas con el entorno construido, especialmente en las ciudades, donde el clima regional se ve profundamente alterado y aparece un clima urbano característico. En estas áreas, el objetivo prioritario es evaluar la incidencia del clima en la planificación, el diseño y el tipo de edificaciones, con objeto de mejorar el ambiente climático del entorno.
— Por último, una tercera línea de investigación, se interesa por conocer la incidencia del clima sobre los sistemas económicos y las actividades sociales. En este campo se incluye, tanto la información, en tiempo real o las previsiones a corto plazo, sobre las condiciones bioclimáticas existentes en un determinado lugar, como la previsión de riesgos para la salud asociados a las diferentes situaciones meteorológicas; también otros aspectos, como el absentismo laboral o el aumento de la criminalidad asociados a determinados eventos climáticos.

En trabajos anteriores hemos analizado las modificaciones que la ciudad introduce sobre el confort climático regional y las diferencias que dentro de ella se producen como consecuencia de las diferentes estructuras y usos del suelo (Fernández García, F. 2002b). En éste, tratamos la incidencia del clima sobre la salud y el objetivo fundamental se centra en los aspectos relacionados con la caracterización de las situaciones extremas, fundamentales para la definición y prevención de los riesgos de origen climático.

La hipótesis de partida es que hay un consenso general sobre la existencia de situaciones extremas que influyen negativamente sobre la salud y actividad de las personas, pero existe una gran diversidad metodológica para definir los umbrales de tales situaciones extremas. La mayor parte de

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

los estudios utilizan las temperaturas máximas o mínimas registradas en los diferentes observatorios, sin tener en cuenta, por un lado, que las sensaciones térmicas dependen también de otras variables como la humedad y el viento y, por otro, que la tensión térmica provocada por las situaciones extremas puede ser muy diferente según la zona y la época en la que se produzca. Es fácil intuir que en Madrid y en invierno una temperatura de 10 grados puede corresponder a una sensación cálida, mientras que ese mismo valor en verano o en otra zona, como Valencia, puede ser fría o normal.

Para ello proponemos la aplicación de un índice de confort relativo diario (ICRD), con características similares al WSI (Weather Stress Index) y al HSF (Heat Stress Factor), desarrollados en el Departamento de Geografía de la Universidad de Delaware por Kalstein y colaboradores y que ha sido aplicado en diversos países. Con ello se pretende, en primer lugar, determinar las condiciones bioclimáticas medias de regiones climáticamente diferenciadas; en segundo lugar, caracterizar los periodos extremos en términos de comparación respecto a los valores normales y, por último, establecer la relación de tales eventos con la dinámica general del clima. Así mismo puede ser una herramienta muy útil para la predicción de situaciones meteorológicas extremas en cortos periodos de tiempo.

El trabajo es el avance de un estudio más amplio, que pretende cubrir las diferentes regiones climáticas de nuestro país. Ahora utilizamos solamante tres observatorios peninsulares, Madrid, Valencia y Santander, con características climáticas diferenciadas y representativas de la diversidad climática de la Península. El periodo analizado se extiende desde el año 1985 al año 2000, ambos incluidos y utilizamos los datos horarios de temperatura, humedad y viento suministrados por el INM.

Los índices bioclimáticos: el índice de estrés relativo

La elaboración de índices bioclimáticos ha sido el método utilizado para evaluar la incidencia del clima sobre la salud y el bienestar de las personas. Recordemos que los primeros, cuyo origen se remonta a finales del siglo XIX, tenían como objetivo fijar las condiciones más adecuadas para el trabajo en las industrias mineras y textiles, en las que se producían frecuentes accidentes y enfermedades a consecuencia del calor y la humedad. Tres son los objetivos fundamentales que han preocupado y aún pre-

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

ocupan a la bioclimatología humana: el primero consiste en determinar cuales son las variables climáticas que influyen sobre el organismo; el segundo en conocer los mecanismos de intercambio de calor y el tercero en establecer los límites o umbrales de las diferentes sensaciones que el organismo experimenta.

La realidad es muy compleja puesto que, además del clima, pueden influir otros factores relacionados con el género, la edad y las características sociales del grupo humano. Quizás por ello uno de los principales retos de la bioclimatlogía actual sea la de conseguir un índice común capaz de aglutinar la diversidad de situaciones a las que ha de hacer frente. Y ello se hace especialmente necesario en los estudios cuyo objetivo concreto es determinar las situaciones de riesgo asociadas a los extremos climáticos. Es éste, como señalamos anteriormente, uno de los principales campos de aplicación de la bioclimatología y uno de los que mayor implicación tiene sobre la sociedad. Como ya señalamos en otro momento (Fernández García, F., 2002), algunos autores prevén un incremento significativo de los ingresos hospitalarios y de la morbilidad, de hasta un 50% respecto a los niveles normales como consecuencia del aumento de los extremos climáticos, especialmente en las áreas urbanas y en las zonas de climas no extremados (Kalkstein y cols., 1999). No es extraño que los organismos oficiales se hayan sensibilizado al respecto como lo demuestra el hecho de que las olas de frío y calor han sido incluidas en el amplio grupo de situaciones de riesgo climáticos, o que se estén desarrollando sistemas de alerta y previsión de riesgos en numerosas ciudades (Kalstein, Jamason et alts., 1996). Así mismo, han aumentado considerablemente los trabajos que relacionan la mortalidad con las temperaturas extremas (Raso, 1999; Alberdi y cols., 1998, Díaz y cols., 2002), o los que analizan las olas de calor como situaciones de riesgo y tratan de establecer «umbrales que permitan alertar a la población de las condiciones potencialmente peligrosas para la salud» (Marzol, 2001, p. 366).

En muchos de estos trabajos, sólo se considera la temperatura, sin tener en cuenta otras variables como la humedad o el viento, fundamentales a la hora de evaluar el estrés climático y no siempre existe un criterio uniforme a la hora de determinar los umbrales de riesgo. La solución a esos problemas, según algunos autores, es la utilización de «índices relativos», cuyo objetivo es evaluar las condiciones bioclimáticas en relación a las condiciones normales de una estación o mes concreto y en climas diferentes. Para ello proponen la utilización de índices bioclimáticos

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

que puedan expresarse en las mismas unidades y escalas que las empleadas para las temperaturas y que puedan ser sometidos a los análisis estadísticos usuales en climatología. La *temperatura fisiológica equivalente* y la *temperatura aparente* son dos de los índices que cumplen tales condiciones. Ambas responden al concepto clásico de temperatura efectiva, pero se obtienen a partir de los modelos físicos del balance energético entre el cuerpo y el ambiente exterior. Así, la *temperatura fisiológica equivalente* representa en cualquier lugar, interior o exterior, un valor equivalente al balance producido en un espacio interior, para un individuo en actividad liviana (80 W), ropa ligera (Icl 0.9) y temperaturas de la piel y el cuerpo similares a las observadas en las condiciones reales (Höppe, 1999); por su parte *la temperatura aparente* es definida como la temperatura del termómetro seco que requeriría el mismo tipo de vestimenta (expresada en términos de resistencia térmica) que las condiciones reales de temperatura, humedad y viento, para mantener la neutralidad térmica (Steadman, 1984).

La mayor parte de los modelos actualmente existentes, como el MENEX MODEL, Man Environment heat Exchange (Blazejczyk, 1994), o el MEMI, Munich Energy balance Model for Individuals (Höppe, 1999), consideran como escenario de aplicación, tanto las condiciones climáticas medias, referidas normalmente a intervalos mensuales, como las fluctuaciones en periodos más cortos, de duración igual o inferior a un día. Ha sido, sin embargo, el grupo de investigaciones climáticas del Departamento de Geografía de la Universidad de Delaware, el que ha desarrollado de forma sistemática estos índices relativos. En 1982 Kalstein desarrolló el *Weather Stres Index* (WSI), que fue posteriormente aplicado para analizar las situaciones de disconfort en invierno y verano en los Estados Unidos (Kalstein y Valimon, 1986 y 1987); más recientemente, Derby (2001) ha propuesto un nuevo índice, el HSF o *Heat Stress Factor*, en la misma línea de los anteriores, pero introduciendo nuevas variables.

La base del índice es la «temperatura aparente», definida por Steadman a partir de la evaluación del balance de calor en diferentes ambientes y para distintos tipos de personas y actividades. Tras un exhaustivo estudio en el que analiza las respuestas fisiológicas ante diversas situaciones meteorológicas (1979a, 1979b y 1995), Steadman propone un método simplificado, que permite obtener la temperatura aparente en tres situaciones: en el interior, en el exterior a la sombra y en el exterior expuestos a la radiación solar. Las expresiones que permiten el cálculo

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

de la temperatura aparente, con un intervalo de confianza del 99%, son las siguientes (Steadman, 1984, p. 1675 y 1686):

— Para zonas interiores: Ta = – 1.3 + 0.92T + 2.2Pv;
— En exteriores a la sombra: Ta =–2.7 + 1.04T + 2Pv – 0.65;
— En el exterior al sol: Ta =–1.8 + 1.07T– 0.92V + 0.044Qs.

Ta, es la temperatura aparente expresada en °C y aplicable en un rango de valores comprendido entre – 40 y + 50; T, es la temperatura del aire, en grados centígrados; Pv, la presión del valor en kPa; V, la velocidad del viento en m/s y Qs la radiación solar, en W/m^2.

Kalstein elabora su índice relativo, transformando los valores diarios, máximos y mínimos, de la «temperatura aparente», en términos relativos respecto a la media y desviación típica de la serie. Derby, por su parte, sigue las mismas pautas, pero utiliza, además de la temperatura aparente, la nubosidad, los grados día y la sucesión de días con temperaturas superiores a un determinado umbral. El índice diario resulta de la adición de los valores relativos de cada una de estas variables.

Aplicación del índice de confort relativo a la península ibérica

Hemos seleccionado en este primer análisis, tres observatorios diferenciados climáticamente y representativos de otras tantas zonas climáticas de la Península. Las pautas seguidas son similares a las expuestas en el apartado anterior, aunque en nuestro caso, hemos considerado como unidad de referencia el mes.

Las variables utilizadas han sido:

— Las temperaturas del termómetro seco y húmedo a las 0, 7, 13 y 18 horas, para cada uno de los observatorios considerados y durante el periodo 1985-2000;
— La velocidad del viento, observado a esas mismas horas, en m/s;
— La humedad del aire, calculada a partir de los datos del termómetro seco y húmedo y expresada en % y en kPa. Se han aplicado las fórmulas recogidas en Fernández García, (1986, cap. 8);
— La nubosidad media, calculada a partir de la nubosidad total observada a las 13 y 18 horas.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

En primer lugar, analizaremos el régimen bioclimático mensual en cada uno de los observatorios, a partir de las temperaturas aparentes diarias; posteriormente estudiaremos el índice diario, que incluye otras variables, además de las temperaturas.

Régimen bioclimático mensual de Madrid, Santander y Valencia.— La temperatura aparente la hemos calculado para cada hora de observación y a partir de la temperatura del termómetro seco, la humedad del aire y la velocidad del viento, siguiendo el método simplificado de Steadman.

En el Cuadro I aparecen los percentiles correspondientes a las temperaturas aparentes máximas y mínimas mensuales, en cada uno de los observatorios analizados. Como podemos observar, las temperaturas aparentes reflejan las características del clima regional en el que se ubican los diferentes observatorios: Madrid, por su carácter de clima continental, presenta los extremos más acusados; Valencia y Santander acusan la influencia moderadora del mar, al tiempo que mantienen los matices derivados de su diferencia latitudinal.

Si consideramos valores térmicos extremos los delimitados por los percentiles 5 y 95 (Figura 1), podremos considerar como los días más fríos aquellos en los que la temperatura aparente mínima descienda por debajo de –7,1 °C en Madrid, de –3,1 °C en Santander y de 0,1 °C en Valencia; como días más cálidos, aquellos en los que la temperatura aparente máxima fuese superior a: 43,4 °C en Madrid, 34,5 °C en Valencia y 27,2 °C en Santander.

Aunque, como hemos señalado, la temperatura aparente sigue, a grandes rasgos, el mismo comportamiento que la observada, entre ambas pueden existir diferencias importantes, debido a la acción del viento y la humedad. Así, la comparación entre la temperatura aparente y la observada, muestra (Cuadro II) que las temperaturas aparentes mínimas son sistemáticamante más bajas en todos los observatorios y en todos los meses, exceptuando la de julio en Valencia que se mantiene prácticamente igual; las menores diferencias corresponden a los meses estivales, y las mayores a los meses de invierno, salvo en Santander en el que se desplazan a los meses de abril y mayo. El comportamiento de las máximas no es tan homogéneo y varía según los observatorios: en Valencia y Santander, la temperatura aparente es más baja que la observada, salvo en los meses estivales (desde junio a septiembre en Valencia, y en julio, agosto y septiembre en Santander); en Madrid, las diferencias son sistemáticamente más altas, exceptuando enero y febrero y, además, las diferencias son mucho más acusadas superando los 6° en julio y agosto.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

CUADRO I

PERCENTILES DE LAS TEMPERATURAS APARENTES MÁXIMAS Y MÍNIMAS DEL PERIODO 1985-2000

Valencia	**Mínimas**					**Máximas**				
	P5	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**	**P5**	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**
Enero	0,1	3,4	5,8	8,6	12,0	7,3	11,4	13,1	15,1	18,4
Febrero	0,7	4,8	7,1	9,6	12,5	8,0	11,9	14,6	17,1	21,3
Marzo	4,1	7,0	9,0	10,7	13,2	10,8	14,0	16,2	18,5	23,4
Abril	6,1	9,4	11,4	13,3	15,7	12,3	15,8	17,6	19,5	23,2
Mayo	10,5	14,4	16,6	18,6	21,0	15,8	19,4	21,6	23,6	26,4
Junio	15,8	19,2	21,1	22,8	25,0	20,3	23,6	25,8	27,7	30,2
Julio	20,1	22,7	24,5	25,7	27,5	25,2	28,0	29,7	31,1	32,9
Agosto	19,9	23,8	25,6	26,8	28,4	26,5	29,8	31,3	32,5	34,5
Septiembre	14,3	18,8	21,4	23,3	25,7	21,1	25,9	28,0	29,9	32,3
Octubre	9,9	13,4	15,5	17,8	20,4	16,5	20,7	23,0	25,2	28,6
Noviembre	3,0	7,8	10,5	13,4	16,8	10,7	15,3	18,1	20,3	23,6
Diciembre	1,3	4,9	7,7	9,8	13,7	8,8	12,8	14,7	16,7	20,3

Madrid	**Mínimas**					**Máximas**				
	P5	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**	**P5**	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**
Enero	–7,1	–3,8	–0,8	3,6	7,5	2,2	6,2	8,2	10,1	13,0
Febrero	–5,5	–1,8	0,9	4,0	7,6	4,1	8,6	10,8	13,7	17,1
Marzo	–2,6	0,8	3,5	5,9	9,5	8,5	12,0	15,8	18,9	22,2
Abril	0,5	4,1	6,5	8,7	12,0	9,1	12,5	16,1	20,0	25,6
Mayo	5,6	9,4	11,9	14,4	17,5	13,5	18,7	22,5	25,8	30,2
Junio	10,9	14,4	16,9	19,8	22,5	19,2	24,7	28,9	32,3	36,9
Julio	14,6	18,1	20,7	22,6	25,0	24,7	30,8	34,1	37,0	43,4
Agosto	13,8	17,2	19,4	21,4	24,4	26,0	30,5	33,2	35,7	42,9
Septiembre	8,4	12,2	15,1	17,4	20,2	18,9	23,3	27,5	30,8	35,1
Octubre	2,8	6,6	9,4	12,3	15,5	12,7	16,3	19,5	22,6	26,1
Noviembre	–3,5	0,7	4,5	7,9	12,5	6,6	10,0	13,2	16,1	20,0
Diciembre	–6,3	–2,6	2,0	5,6	9,7	3,4	6,7	8,8	10,8	14,1

Santander	**Mínimas**					**Máximas**				
	P5	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**	**P5**	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**
Enero	–3,1	1,5	3,9	6,3	10,2	3,3	7,3	10,2	12,2	15,6
Febrero	–1,8	1,7	4,5	7,2	10,4	2,9	8,4	11,0	13,4	16,8
Marzo	–0,1	3,4	5,9	8,4	11,7	5,2	9,4	11,7	14,2	19,2
Abril	0,6	4,5	7,1	9,6	12,6	5,4	9,6	12,2	14,4	19,3
Mayo	5,2	10,0	12,2	14,0	16,9	9,7	13,7	16,2	18,7	23,2
Junio	9,9	12,7	14,9	16,8	19,5	13,9	16,6	18,5	20,7	23,9
Julio	13,1	15,9	17,9	19,7	21,5	17,5	19,8	21,5	23,1	26,9
Agosto	13,3	16,5	18,5	20,4	22,4	18,1	21,1	22,8	24,4	27,2
Septiembre	10,0	13,3	15,7	18,0	20,6	15,4	18,6	20,7	23,0	26,2
Octubre	6,8	9,2	11,3	14,1	17,3	11,1	15,3	17,3	20,0	23,6
Noviembre	0,6	4,4	7,5	10,1	14,0	6,1	10,6	13,5	16,0	19,7
Diciembre	–0,6	2,9	5,4	8,0	11,3	4,9	8,9	11,5	13,6	17,2

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

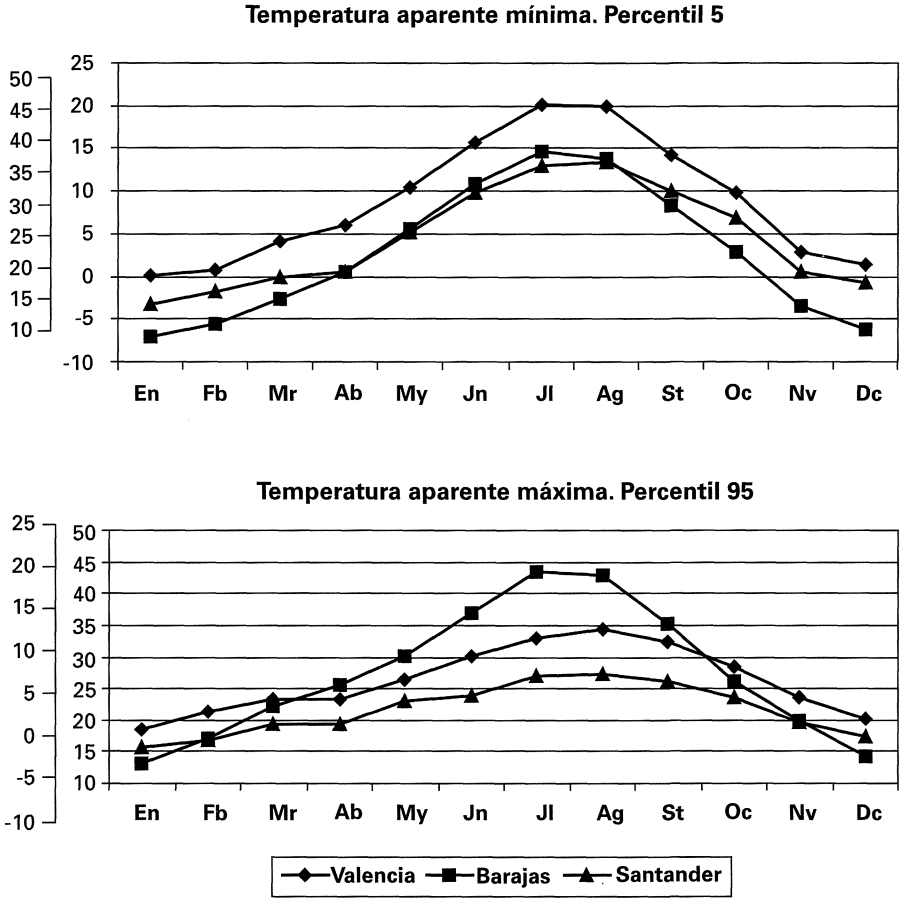

FIG. 1.—*Valores extremos mensuales de las temperaturas aparentes máximas y mínimas (1985-2000).*

Es interesante destacar estos resultados, porque ponen de manifiesto la importancia del viento y la humedad en las situaciones climáticas extremas. Es éste un aspecto que analizaremos con más detalle en trabajos sucesivos; ahora nos limitamos a presentar, a título de ejemplo, las características climáticas de los días con temperatura aparente más cálida en cada uno de los observatorios estudiados.

Los valores más altos han correspondido a Madrid, donde se registraron 50,6 °C de máxima el día 20 de agosto del año 1993; el segundo más

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

CUADRO II

DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA APARENTE Y LA OBSERVADA

Mes	**Percentil 5 de las mínimas**			**Percenti 95 de las máximas**		
	Madrid	**Valencia**	**Santander**	**Madrid**	**Valencia**	**Santander**
Enero	–2,1	–2,9	–3,3	–0,2	–1,8	–2,6
Febrero	–2,1	–2,7	–3,3	–0,1	–1,7	–2,4
Marzo	–1,8	–2,3	–3,3	0,8	–1,6	–2,1
Abril	–1,7	–2,7	–5,0	0,6	–1,6	–2,1
Mayo	–0,8	–1,7	–4,0	1,2	–0,6	–1,2
Junio	–0,5	–0,6	–2,1	2,9	0,2	–0,9
Julio	–0,4	0,3	–1,3	6,6	0,5	0,5
Agosto	–0,4	–0,1	–1,3	6,7	1,7	1,0
Septiembre	–0,6	–1,5	–2,0	2,3	0,9	0,0
Octubre	–1,2	–1,7	–1,6	1,1	0,8	–2,2
Noviembre	–1,8	–2,2	–3,0	0,9	–1,0	–1,7
Diciembre	–2,3	–2,7	–2,2	0,1	–0,9	–2,4

elevado se registró en Valencia, 47 °C el día 7 de julio de 2000; en Santander la máxima fue de 38,5 °C el 7 de septiembre de 1988. El análisis de las temperaturas máximas, la humedad y el viento, registrados durante esos días, tal y como aparece en el Cuadro III, pone de relieve algunos aspectos dignos de mención: en primer lugar, se observa que en Madrid las situaciones cálidas más extremas se producen, no tanto a consecuencia de las elevadas temperaturas, sino por la humedad; el ambiente climático de estos días es radicalmente diferente a las características climáticas de la zona, cuyo rasgo fundamental es la sequedad del aire.

En Santander, también es interesante observar que la sensación más cálida no se corresponde con la temperatura más alta: los 33 °C registrados por el termómetro el día 7 de septiembre se convierten en 38,5 °C debido a la ausencia de viento y a la elevada humedad; por el contrario los 37 °C del día 17 descienden hasta 35,6 °C por la escasa humedad y viento fuerte.

En Valencia, por último, los 40 °C de máxima registrados en dos días diferentes, en uno corresponden a una temperatura aparente de 46 °C, mientras que en el otro ésta es de sólo 37,1 °C. Las diferencias de humedad relativa correspondientes a ambos días, 72% y 54%, es el factor fundamental de las diferencias observadas en las temperaturas aparentes de esos días.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

CUADRO III

PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS DE LOS DÍAS CON TEMPERATURAS APARENTES MÁXIMAS (TAMX) MÁS ALTAS DEL PERIODO 1985–2000

Barajas, 20/8/93				**Barajas 30/6/94**			
Tmx	**Hr**	**V**	**TAmx**	**Tmx**	**Hr**	**V**	**TAmx**
39,0°	89%	0,5	50,6	37,8	96,7	0,2	49,4
Santander 7/9/88				**Santander, 17/9/87**			
Tmx	**Hr**	**V**	**TAmx**	**Tmx**	**Hr**	**V**	**TAmx**
33,0°	77%	0,0	38,5	37,0	64	4,0	35,6
Valencia 7/7/2000				Valencia, 6/7/86			
Tmx	**Hr**	**V**	**TAmx**	**Tmx**	**Hr**	**V**	**TAmx**
40,0°	72%	3,0	46,0	40,0	54	4,0	37,1

La temperatura aparente, por tanto, puede ser el parámetro que mejor defina situaciones climáticas extremas, potencialmente peligrosas para la salud. Especialmente importante es el hecho de que la temperatura aparente incluye las otras dos variables que de forma más directa contribuyen a la sensación térmica, como son el viento y la humedad.

No obstante, existen otros parámetros que pueden matizar o condicionar estas sensaciones. Lo ocurrido el día 6 de julio de 1986 en Valencia puede ser tomado como muestra: hemos comentado anteriormente que la temperatura aparente de ese día fue inferior a la registrada en el termómetro, debido al descenso de la humedad; sin embargo es posible que la sensación térmica experimentada por los valencianos respondiese, más que a la temperatura aparente, al cambio brusco que experimentaron las temperaturas de ese día respecto a las del anterior: la máxima pasó de 28 °C, el día 5, a los 39.6 °C que registraron los termómetros el día 6.

La elaboración de un índice diario en el que se incluyan otras variables, puede ser una solución a los problemas que acabamos de plantear.

El índice bioclimático diario.—La elaboración del índice se realiza en tres etapas:

— La primera consiste en la elección de los parámetros representativos de las condiciones bioclimáticas diarias;

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

— La segunda, en la transformación de los valores absolutos registrados por cada uno de los parámetros en valores relativos, mediante la asignación del rango correspondiente en la curva de frecuencias acumulada;
— La tercera y última es la obtención del índice a partir de la suma de los valores relativos. Su valor oscila entre –1, que corresponde al días más frío, y 5 al día más cálido.

1.ª Como parámetros representativos se han considerado la temperatura aparente, máxima, mínima y media, la nubosidad y las variaciones de la temperatura media de un día con respecto al anterior.

La temperatura aparente es el principal indicador de las condiciones bioclimáticas de un día concreto, puesto que refleja la acción combinada de la temperatura, el viento y la humedad. Hemos considerado, por ello, que la introducción de los valores medios, además de los extremos, refuerza la importancia de este parámetro en el índice final.

Los otros dos parámetros complementan y matizan el efecto de la temperatura aparente. La nubosidad media durante el día reduce la insolación y, consecuentemente, las sensaciones cálidas, en el caso de cielos cubiertos; lo contrario ocurre con cielos despejados. Por su parte, los cambios bruscos de temperatura, tanto positivos como negativos, aumentan el estrés térmico, al someter al organismo a un esfuerzo adicional de adaptación a las condiciones frías o cálidas.

2.ª La transformación de los valores absolutos en relativos, la hemos realizado sustituyendo el valor observado por el rango que le corresponde en la curva de frecuencias acumulada de las series correspondientes al periodo 1985-2000. La unidad temporal de referencia que hemos considerado es el mes, por lo que el rango 1 correspondería al valor más alto alcanzado por ese parámetro en el mes correspondiente, mientras que 0 indicaría el más bajo. En la variación térmica diaria se han considerado por separado los valores positivos y los negativos, a fin de que el rango más elevado coincida con las máximas desviaciones.

3.ª El índice diario resulta de la suma de los rangos correspondientes a las diferentes variables, con algunas matizaciones: la variación respecto al día anterior, sólo se considera si es mayor o menor de 1.5 desviaciones y, en función del signo, se suma o se resta. Cuanto más alto es el valor del índice mayor será el disconfort por calor; lo contrario ocurre con los valores bajos.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Cuadro IV

PARÁMETROS REPRESENTATIVOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE RELATIVO DIARIO

	día 20 de julio de 1995		**día 4 de julio de 1988**	
	valor	**rango**	**valor**	**rango**
tamáxima	41,0	0,91	18,0	0,00
tamínima	26,9	0,99	14,5	0,04
tamedia	34,6	1,00	15,8	0,00
nubosidad	1,0	0,33	8,0	1,00
variación	0,7 (0,3)	0,24	–3,8 (–1,8)	0,91

Índice del día 20: 0,91 + 0,99 + 1 + (1 – 0,33) = 3,57
Índice del día 4: 0 + 0,04 + 0 + (1 – 1) – 0,91 = – 0,87

A título de ejemplo, en el Cuadro IV, se recogen los valores absolutos y relativos de dos días, incluidos en el grupo de los 10 más cálidos o fríos, respectivamente, del mes de julio en Madrid. El 20 de julio de 1995, la temperatura aparente media ha sido la más alta registrada en ese mes durante el periodo 1985-2000, la mínima prácticamente también, mientras que un 9% de los días han registrado máximas superiores a los 41 °C . La variación respecto al día anterior ha sido 0,7, correspondiente a 0,3 desviaciones típicas, por lo que no se ha considerado en el índice. El día 4, por el contrario, el descenso de –3,8 grados respecto a la media del día anterior, ha sido superior a –1,5, por lo que el rango 0,91 contribuye de forma negativa al valor total del índice.

El índice tiene como principal ventaja el integrar en un único valor la acción combinada de las cinco variables que hemos introducido en el análisis. Además, valores similares indican características comunes en cualquier mes del año y para los diferentes observatorios, tal y como se puede observar en el Cuadro V: aquellos días en los que el valor del índice es superior a 3 se incluyen sistemáticamente en el grupo del 5% de días más cálidos; cuando el índice es inferior a 1,3, el día pertenece al 25% de los más fríos.

La distribución de días muy fríos o muy cálidos, los correspondientes a valores del índice inferior o igual al percentil 5 o superior al percentil 95,

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

CUADRO 5

PERCENTILES DEL ÍNDICE DIARIO DE CONFORT

	P5			**P95**		
	Madrid	**Santander**	**Valencia**	**Madrid**	**Santander**	**Valencia**
Enero	0,61	0,23	0,63	3,44	3,62	3,41
Febrero	0,50	0,35	0,52	3,58	3,63	3,61
Marzo	0,49	0,34	0,52	3,40	3,68	3,40
Abril	0,31	0,32	0,49	3,64	3,60	3,52
Mayo	0,33	0,37	0,48	3,55	3,65	3,46
Junio	0,24	0,39	0,38	3,60	3,83	3,54
Julio	0,22	0,23	0,40	3,40	3,59	3,37
Agosto	0,28	0,19	0,47	3,33	3,52	3,29
Septiembre	0,12	0,22	0,38	3,65	3,59	3,37
Octubre	0,38	0,43	0,46	3,38	3,70	3,44
Noviembre	0,56	0,30	0,60	3,40	3,52	3,40
Diciebre	0,53	0,38	0,57	3,49	3,64	3,49

	P5			**P95**		
	Madrid	**Santander**	**Valencia**	**Madrid**	**Santander**	**Valencia**
Enero	1,33	1,34	1,37	2,68	2,76	2,69
Febrero	1,36	1,30	1,36	2,67	2,77	2,68
Marzo	1,31	1,32	1,35	2,76	2,76	2,65
Abril	1,25	1,17	1,36	2,78	2,79	2,73
Mayo	1,18	1,18	1,33	2,80	2,79	2,75
Junio	1,18	1,19	1,26	2,88	2,78	2,81
Julio	1,27	1,26	1,32	2,70	2,79	2,76
Agosto	1,26	1,30	1,44	2,71	2,81	2,63
Septiembre	1,22	1,24	1,23	2,83	2,82	2,78
Octubre	1,33	1,22	1,35	2,74	2,82	2,76
Noviembre	1,34	1,28	1,35	2,68	2,77	2,72
Diciembre	1,33	1,26	1,41	2,66	2,73	2,62

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

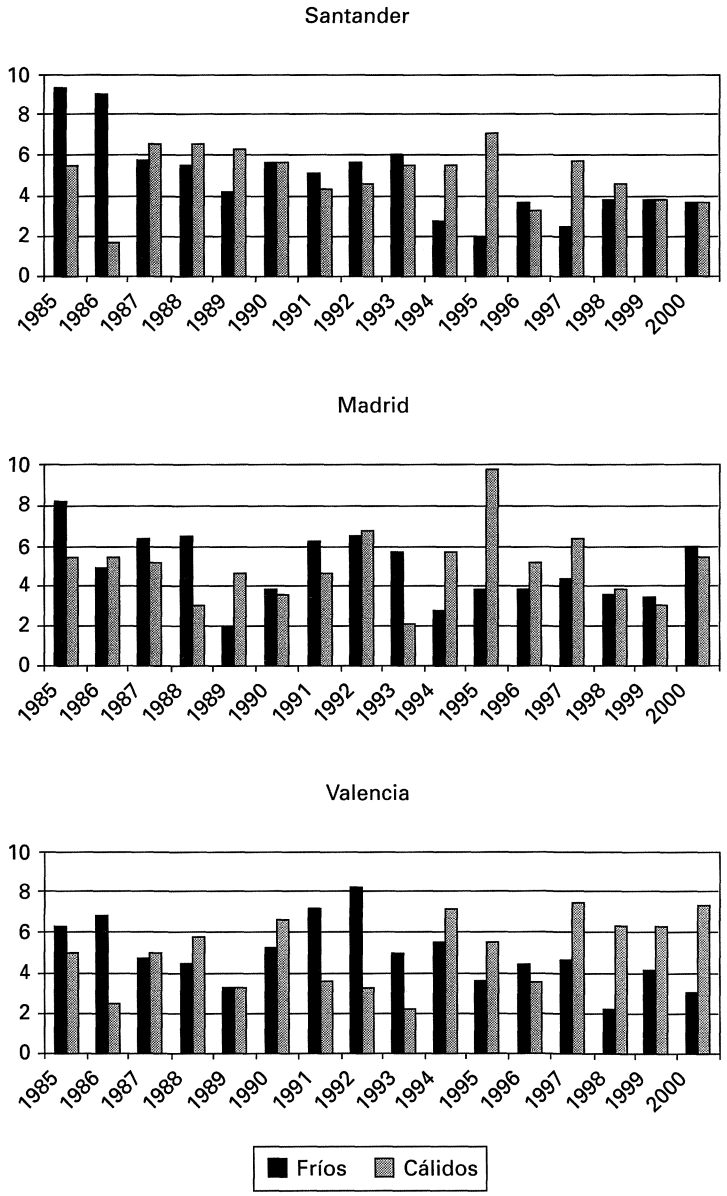

FIG. 2.—*Frecuencia anual de días fríos y cálidos en el periodo 1985-2000.*

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

respectivamente, aparecen en la Figura 2: en Santander los dos primeros años de la serie, 1985 y 1986, registraron el mayor número de días fríos con valores porcentuales superiores a 8 y se reducen considerablemente en los años posteriores; en Madrid, el máximo corresponde también al año 1985, mientras que en Valencia se desplaza al año 1992. El máximo de días cálidos se ha registrado en Madrid, el año 1995, con un porcentaje próximo al 10%; en los otros dos observatorios, la frecuencia es menor y no aparece un máximo tan claro como en el observatorio madrileño. El cómputo anual de estas situaciones extremas, refleja una clara diferenciación entre los tres observatorios analizados y pone de manifiesto la influencia, que sobre aquellas, tienen los factores regionales del clima.

Consideraciones finales

El índice propuesto ofrece indudables ventajas metodológicas y de aplicación, para hacer frente a los nuevos retos de la bioclimatología:

- Se obtiene a partir de las variables disponibles en la mayor parte de los observatorios de primer orden y en los principales modelos de previsión meteorológica a corto plazo. Por ello, puede ser utilizado, tanto para establecer el régimen bioclimático medio de diferentes zonas, como para la caracterización de las condiciones bioclimáticas de un día concreto.
- La variable más importante del índice, la temperatura aparente, expresa la acción conjunta de la temperatura, la humedad y el viento, en las mismas unidades que la temperatura del aire. Los criterios adoptados por el INM para caracterizar los periodos extremos (Almarza, 2002), deberían ser aplicados a la temperatura aparente, cuando se trata de evaluar su influencia sobre la salud.
- La incorporación de otras variables además de la temperatura aparente, así como su valoración en términos relativos, permite mejorar sensiblemente la previsión de situaciones de riesgo para la salud o el grado de disconfort provocado por diferentes situaciones meteorológicas. El factor de adaptación juega un papel importante.

Como señalamos al principio, en este trabajo únicamente hemos realizado una primera aproximación, cuyos resultados creemos que han sido po-

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

sitivos. No obstante es preciso continuar en esta línea, ampliando el ámbito de actuación a otras zonas, analizando en detalle la influencia de los tipos de tiempo y los factores geográficos locales, así como la importancia de otras variables, como podría ser la duración de los periodos fríos o cálidos.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERDI, J. C., DÍAZ, J. MONTERO, J. C., MIRON I. J. (1998): «Daly mortality in Madrid community 1986-1992: relationship with meteorological variables», *European Journal of Epidemiology*, 14, pp. 571-578.

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 Blazejczyk and Krawczyk (ed), *Bioclimatic reseach of the human heat balance*. Zeszyty IGIPZ PAN, 28, 2.

DERBY, J. C. (2001): *The development of a warm weather relative comfort index for environmental analysis*. University od Delaware, 17 pp.

DÍAZ, J. JORDÁN A,. GARCÍA R, LÓPEZ C, ALBERDI, J.C., HERNÁNDEZ, E., y OTERO, A. (2002): «Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly», *Intern Arch. Occup. Environ Health*, 75, pp. 163-170.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2002a): «Fundamentos físicos y métodos de evaluación del confort climático en los estudios de bioclimatología humana», *Publicaciones del Grupo de Climatología de la AGE* (Martí Ezpeleta, A. ed), Santiago de Compostela (en prensa).

—— (2002b): «El clima urbano de Madrid y su influencia sobre el confort térmico», *Boletín de la Real Sociedad Geográfica* (en prensa).

—— (1996): *Manual de Climatología Aplicada. Clima Medio Ambiente y Planificación*. Madrid, Síntesis. 285 pp.

—— (2000): «Clima y calidad ambiental en las ciudades: propuesta metodológica y su aplicación al área de Madrid», en *Proyectos y métodos actuales en Climatología* (Raso y M. Vide Eds), Barcelona, Publicación de la Asociación Española de Climatología, Serie B, n.º 1, pp. 41-66.

HÖPPE, P. (1999): «An universal index for the assesement of the thermal environment. The physiological equivalent temperature Pet», en *Proceedings of the 15 International Congress of Biometeorology & International conference on urban climatology*. Sydney, (ICB9.1).

INM (2002): *Valores normales y estadísticos de observatorios meteorológicos principales (1971-2000*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología (6 vols).

KALSTEIN, L. S. (1982): «The weather stress index», *NOAA, Tech. Proc. Bull.*, 324, pp. 1-16.

KALSTEIN, L. S. and VALIMON, K. M. (1986): «An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index», *Bulletin American Meteorological Society*, 67, 7, pp. 842-848.

—— (1987): «An evaluation of winter severity in the United States, using the weather stress index», *Bulletin American Meteorological Society*, 68, 12, pp. 1535-1541.

KALSTEIN, L. S. (1991): «A New Approach to Evaluate the Impact of Climate on Human Mortality», *Environmental Health Perspectives*, 96 , pp 145-150.

KALSTEIN, L. S. et alts. (1996): «The Philadelphia Hot Weather Helath Watch/Warning system: development and Application, summer 1995», *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, pp. 1.518-1.528.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

MARZOL, M. V. (2001). «Análisis estadístico del calor en la isla de Tenerife (1950-2000). Contribución a la prevención de situaciones de riesgo», en *El tiempo del clima* (Pérez Cueva, A., López Baeza, E. y Tamayo Carmona, J. eds), Valencia, Publicaciones de la AEC. Serie A, n.º 2, pp. 365-376.

RASO, J. M. (1999). «Temperaturas extremas y mortalidad en Barcelona» en *La climatología española en los albores del siglo* XX (Raso y M. Vide (coords), Barcelona, Publicación de la Asociación Española de Climatología. Serie A, n.º 1, pp. 459-468.

STEADMAN, R. G. (1971): «Indices of winchill of clothed persons», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 10, pp. 674-683.

—— (1979a): «The assessment of sultriness. Part I: A temperature – humidity index based on human physioloy and clothing science», *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 18, pp. 861-873.

—— (1979b): «The assessment of sultriness. Part II: Effect of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 18, pp. 874-884.

—— (1984): «A universal scale of Apparent temperature», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, pp. 1674-1687.

—— (1995). «Comments on «Wind Chill Errors», *Bull. A.M.S.*, 76, 1628-1630.

RESUMEN: En este artículo aplicamos un índice de confort relativo diario (ICRD), en Madrid, Santander y Valencia. El índice integra la temperatura, humedad, viento, nubosidad y las diferencias térmicas de un día respecto al anterior. Puede ser utilizado, en primer lugar, para la previsión de situaciones meteorológicas extremas potencialmente peligrosas para la salud; en segundo lugar, como complemento de la información meteorológica diaria, indicando las condiciones existentes para la realización de actividades al aire libre o recomendando el tipo de vestimenta más adecuado.

PALABRAS CLAVE: Bioclimatología, estrés térmico, España.

RÉSUMÉ: Dans cet article nous avons appliqué un indice de confort relatif quotidien, qui comprend la température, l'humidité, le vent, la nebulosité et les differences thermiques d'un jour par rapport au jour précédent. L'indice peut être utilisé, en premier lieu, pour la prevision de situations météorologiques extremes pouvant être dangereuses pour la santé; deuxièmement comme complément de l'information météorologique quotidienne, indiquant les conditions existantes pour la réalisation d'activités en plein air ou recommandant la tenue vestimentaire la plus appropriée.

MOTS-CLÈS: Bioclimatologie, Confort thermique, Espagne.

ABSTRACT: In this paper we apply a comfort daily relative index (ICRD) in three different climatic areas of Iberian Peninsula (Madrid, Santander and Valencia). The index combinates temperature data, humidity, wind speed and the variation of daily temperature from one to the following. ICRD can be useful to predict the stressful weather days and other bioclimatic aspects related to outdoors activities, so as sports, clothing required ...

KEY WORDS: Bioclimatology, Weather Stress Index, Spain.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)