

Biometeorología humana: algunos conceptos y proyecciones

Human Biometeorology: Some Concepts and Projections

ERNST R. HAJEK y GUILLERMO A. ESPINOSA

Facultad de Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago

Some general principles governing the energy exchange between man and environment are reviewed.

This review is further focused on some biometeorological indices (Effective temperature, air enthalpy, wind chill index) and other criteria for assessing the human bioclimates. Some results of applying these indices in Chile are presented and discussed.

Finally, the convenience of more critical evaluation and improvements for extending these principles to local populations are stressed.

A modo de saludo

Es un grato honor poder asociarnos a este homenaje que la comunidad científica rinde a uno de sus más queridos miembros. Vemos en el profesor Joaquín Luco al maestro eminente, generoso, crítico y valiente.

Nuestra contribución es un testimonio de lo mucho que lo apreciamos. Tenemos temor que ella no esté, sin embargo, al nivel de lo que Luco siempre ha exigido. Modestamente se la ofrecemos y le prometemos seguir perseverando.

La energía y la salud del hombre dependen de la capacidad de su organismo de adaptarse al ambiente físico que le rodea, ya sea fisiológicamente o por comportamiento. La adaptación a las condiciones del sistema atmosférico se logra gracias a su sistema de homeostasis, manteniéndose los límites de adaptabilidad con una separación máxima en una persona sana y estrechándose cuando ésta enferma (Sargent y Tromp, 1964; Weihe, 1979; Tromp, 1963b).

La Biometeorología es una ciencia interdisciplinaria que se vincula con la Ecología y con la Meteorología en el estudio del sistema dentro del cual interactúan el ambiente y los organismos (Sargent y Tromp,

1964). La Biometeorología Humana estudia la influencia del tiempo y del clima sobre el hombre y tiene una orientación y contenidos influenciados, además, por componentes culturales que complican su análisis (Auliciems, 1981, Croome, 1980). Pueden reconocerse para ella cuatro secciones básicas: 1) Biometeorología fisiológica, 2) Biometeorología social, 3) Biometeorología patológica y 4) Biometeorología urbana (Tromp, 1963a).

En este trabajo queremos relatar y discutir algunas de nuestras experiencias locales en la aplicación de los conceptos de la biometeorología, particularmente aquellos que se refieren a la evaluación de los bioclimas humanos.

A. El intercambio de calor entre el cuerpo y el medio ambiente

La sensación de bienestar climático y su evaluación a través de índices es un aspecto de la Biometeorología humana que dice relación con el intercambio energético.

La mantención del equilibrio térmico entre el cuerpo humano y su ambiente es uno de los requisitos básicos para la salud y el bienestar; significa controlar la temperatura interior del cuerpo dentro de un rango estrecho, independiente de las amplias variaciones del ambiente externo. Las condi-

ciones bajo las cuales se logra dicho balance dependen de un efecto combinado de muchos factores; algunos, como la actividad, aclimatización y vestimenta son inherentes al individuo, y otros, como la temperatura del aire, la radiación, la humedad y el movimiento del aire son ambientales (Givoni, 1969). De hecho, estos cuatro elementos del ambiente físico son considerados como aquellos de mayor importancia en los procesos de intercambio energético y en su función relacionada con la sensación de bienestar climático del hombre.

En esencia, para mantener un balance de temperatura, la ganancia de calor debe ser igual a la pérdida.

La tasa neta a la cual el cuerpo genera e intercambia calor con su ambiente está expresada matemáticamente en la ecuación del balance calórico (Griffiths, 1976):

$$\text{Calor metabólico (M) + Radiación (R+) + Convección (C+) + Conducción (K+) = Radiación (R-) + Convección (C-) + Conducción (K-) + Evaporación (E)}$$

La unidad que a menudo se utiliza en evaluaciones biometeorológicas en relación a la tasa metabólica es el MET (= 50 kcal m⁻² hr⁻¹ = 0,08 ly min⁻¹).

Al calor que se produce por el metabolismo puede agregarse aquel de otras fuentes, tales como la radiación, la convección y la conducción. La ganancia convectiva ocurre solamente cuando la temperatura del aire advectado excede a la temperatura de la piel y depende de la diferencia de temperatura aire-piel y de la velocidad del viento.

Para un aumento conductivo de calor, parte del cuerpo debe estar en contacto con una superficie más calurosa; dentro de toda la ganancia calórica del cuerpo, la conducción es el menor aporte (Lowry, 1969).

Las pérdidas de calor se producen por evaporación, radiación, convección y conducción, y liberan al organismo de una excesiva carga térmica permitiéndole la mantención de un estado de equilibrio con su ambiente físico.

Por otra parte, se ha establecido que el gasto de energía para calentar el aire de la respiración a 37°C y el gasto de calor de vaporización para saturar el aire inspirado, dependen del clima y la altitud. Las cifras son significativas dentro del balance energético total y fluctúan entre 200 y 700 kcal/día en relación a la estación del año y al tipo de clima. Estas cifras aumentan en 5 kcal/día por cada 100 m de altitud. La pérdida de agua por la actividad respiratoria oscila alrededor de 0,3 l/día (Abel *et al.*, 1972; Baumgartner *et al.*, 1974).

Otro factor que influye en los intercambios energéticos es la ropa. Al respecto, fue creada una unidad denominada CLO que define la capacidad de aislación de una vestimenta para mantener la temperatura de la piel a 33°C, para una temperatura ambiente de 21°C en una pieza con humedad relativa de 50% y velocidad del aire inferior a 10 cm/s. Un traje de oficina equivale a 1 Clo y un traje polar a 3-4 Clo (Fanger, 1970).

Los factores que determinan el intercambio calórico aparecen en la Tabla 1.

TABLA I

Factores que afectan el intercambio calórico del cuerpo con ropa (*)

Factores primarios	Factores secundarios
Tasa metabólica	Temperaturas de la vestimenta
Temperatura del aire	Movimiento del aire bajo la ropa
Temperatura radiante media	Temperatura de la piel
Movimiento del aire	Tasa de sudoración
Presión de vapor	Humectación de la piel y ropa
Tipo de vestimenta y ajuste de ésta	Eficiencia de enfriamiento de la sudoración

(*) Adaptado de Givoni (1969).

Cada uno de los factores primarios puede variar independientemente de los otros. Estas variaciones provocan cambios de uno o más factores secundarios. Por ejemplo, un cambio en la presión de vapor puede afectar la humectación y temperatura de la piel y ropa, y la eficiencia de enfriamiento de la sudoración.

Para evaluar la sensación de bienestar térmico se han diseñado escalas psicofísicas como la que se señala más abajo (ASHRAE 1977) o variantes de ella (Givoni, 1969).

- 1 Frío (-3)
- 2 Fresco (-2)
- 3 Ligeramente fresco (-1)
- 4 Neutro (0)
- 5 Ligeramente tibio (+1)
- 6 Tibio (+2)
- 7 Cálido (+3).

Se ha demostrado que una persona es consistente para evaluar su sensación térmica y puede distinguir no solamente entre los distintos niveles, sino también determinar estados intermedios.

B. Los índices biometeorológicos

Se ha reconocido que es muy difícil expresar las respuestas humanas al ambiente térmico en función de un solo factor ambiental (temperatura, humedad relativa o velocidad del aire, por ejemplo), dado que ellos afectan al cuerpo en forma simultánea, y la influencia de uno depende de los niveles de los otros. Tampoco es posible analizar todos los factores que inciden en las respuestas sensoriales y fisiológicas del hombre.

Los índices biometeorológicos son modelos que tratan de describir, a partir de observaciones experimentales o empíricas, cómo el ambiente atmosférico actúa sobre el organismo humano.

Estos índices, que se pueden expresar en términos meteorológicos o fisiológicos, han tenido amplia aplicación en *Medicina* (Tromp 1963a, 1963b, 1964; Munn, 1970; Staiger *et al.*, 1980; Abel *et al.*, 1977; Jendritzky, 1977; Jendritzky *et al.*, 1979; Brezowsky, 1961, 1963; Landsberg, 1972a, 1972b), *Arquitectura* (Givoni, 1969; Olgay, 1963; Auliciems, 1981), *Minería* (Schmuck, 1972) o *Industria* (Fuller y

Smith, 1981), *acondicionamiento de ambientes* (ASHRAE, 1977), *Turismo* (Reifsnnyder, 1979), *evaluación de bioclimas regionales* (Brazol, 1954; Gregorczyk, 1968; Gregorczyk y Cena, 1967; Wilson, 1963; Oyarzún, 1978; Hajek y Cisternas, 1972; Hajek, 1979; Hajek *et al.*, 1981; Hajek y Rubio, 1982) y son continuamente revisados y ajustados a la luz de nueva investigación y aplicación (ASHRAE, 1977).

Discutiremos algunos de los índices biometeorológicos que han sido de aplicación más universal y con los cuales hemos desarrollado algunas experiencias en nuestro país.

Temperatura efectiva

La temperatura efectiva es un índice que representa la correlación e interdependencia de la temperatura, la humedad y la velocidad del aire en un determinado ambiente para originar una sensación térmica semejante.

En condiciones controladas se han identificado las combinaciones de los elementos arriba nombrados para generar ambientes equivalentes a los cuales corresponden temperaturas efectivas de igual valor.

En el diagrama psicrométrico¹ (Fig. 1) la zona achurada señala la que habitualmente se acepta como de bienestar. Las temperaturas efectivas representativas de estas condiciones fluctúan alrededor de 20°.

¹ Los parámetros de humedad del aire (humedad relativa, presión de vapor, déficit de saturación y otros) se obtienen en tablas o ecuaciones a partir de los datos del termómetro de bulbo seco y del termómetro de bulbo húmedo de un psicrómetro. Este instrumento lleva dos termómetros, seco y húmedo; este último tiene su bulbo cubierto por una muselina que se humedece antes de hacerse la medición. Un mecanismo permite ventilar en forma pareja los dos termómetros. El de bulbo húmedo se deprime más que el seco cuando el aire no está saturado. Los valores de los termómetros seco y húmedo se reemplazan luego en ecuaciones o nomogramas. La temperatura del bulbo seco se usa como temperatura del aire. La temperatura radiante se obtiene del termómetro del globo, que es un termómetro encerrado en una esfera de cobre ennegrecida de 15 cm de diámetro. Parámetros de radiación solar se obtienen mediante solarímetros o radiómetros y la velocidad del aire se mide con anemómetros y se expresa generalmente en m/s o cm/s.

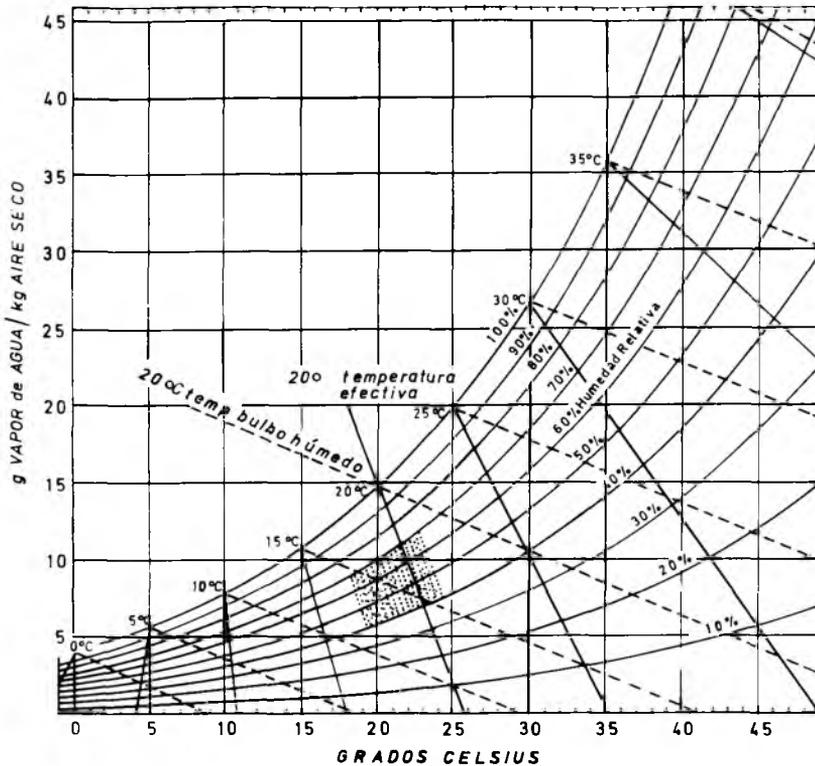


Fig. 1: Diagrama de temperatura-humedad (psicrométrico). En la ordenada se indica la relación de mezcla, en la abscisa la temperatura del termómetro del bulbo seco (o temperatura del aire). Las líneas curvas representan la humedad relativa en %. Las líneas inclinadas de trazos, son líneas de temperatura del bulbo húmedo. Las líneas inclinadas enteras corresponden a la temperatura efectiva. El área achurada es la que se acepta como de bienestar en condiciones de interior (Sargent y Tromp, 1964).

Este tipo de diagrama también permite la estimación del cambio que la humedad relativa sufrirá entre el interior y el exterior de una habitación: si se conoce la temperatura y la humedad exterior y la temperatura interior, se puede derivar la humedad interior resultante del intercambio de aire, ya que si no se agrega humedad adicional por otras fuentes interiores, la relación de mezcla se mantiene constante (Sargent y Tromp, 1964). Por ejemplo, para una temperatura de 10°C y 80% de humedad relativa exterior, la relación de mezcla es de aproximadamente 6 g/kg. Si el aire interior es calentado a 20°C, manteniéndose una relación de mezcla constante (siguiendo la línea de 6 g para interceptar la línea de 20°C), la humedad relativa correspondiente a estas condiciones se encuentra en un 45%.

En términos de equivalencia de sensación térmica, una temperatura de 32°C asociada a una humedad relativa de 20% tendría el

mismo valor de temperatura efectiva, es decir (25 oTE) que una temperatura de 26°C asociada a una humedad relativa de 90%.

Así, se pueden determinar diversas condiciones ambientales y aproximarlas al área punteada que correspondería a condiciones promedio de bienestar.

Otra manera de calcular la temperatura efectiva es la ecuación de Missenard (Gregorzuk y Cena, 1967):

$$TEF = T - 0,4 (T - 10) \left(1 - \frac{HR}{100}\right) \quad (1)$$

donde T es la temperatura del aire en °C y HR es la humedad relativa en %.

Al trabajarse con datos directos del psicrómetro se puede usar como aproximación lo siguiente:

$$TE = 0,4 (T_s + T_h) + 4,8 \quad (2)$$

donde T_s y T_h son, respectivamente, las temperaturas de bulbo seco y húmedo².

El índice de TE originalmente fue utilizado para condiciones de interior en habitaciones, industrias y minas y no en condiciones de áreas abiertas. Sin embargo, el índice resiste su uso en ambientes exteriores y ha sido aplicado con éxito para los análisis bioclimatográficos de varios países.

Utilizando la ecuación (1) hemos analizado 107 estaciones meteorológicas chilenas a fin de describir las condiciones de temperatura efectiva promedio a lo largo del año. La Fig. 2 señala los cursos anuales de la TE para varias estaciones costeras. Fueron seleccionadas para enfatizar el efecto latitudinal, dado que ellas están a altitudes semejantes. Se observa que en 34 grados de latitud se produce un descenso del orden de los 18 °TE en los meses de verano (un gradiente de 0,4 °TE/grado de latitud). Cabe señalar la fuerte excursión de temperatura efectiva entre invierno y verano en el sector antártico, aun cuando se encuentra bajo un régimen oceánico frío.

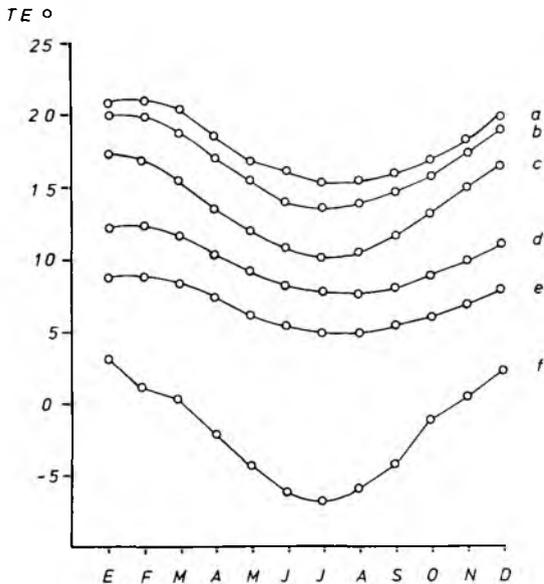


Fig. 2: Curso anual de la temperatura efectiva según la fórmula (1). Las localidades son a. Arica (18° lat.), b. Taltal (25°), c. Constitución (35°), d. Isla Guafo (43°), e. Evangelistas (52°) y Base Antártica Gabriel González Videla (64°).

² En la llamada temperatura efectiva corregida se reemplaza la temperatura del aire por la temperatura del globo, cuando la fuente de calor es de origen radiante. Recientemente ASHRAE ha especificado la "nueva temperatura efectiva", ajustando las áreas de bienestar climático.

Cuando se determina la temperatura efectiva tomando en cuenta la velocidad del aire, puede utilizarse la Fig. 3 (ASHRAE) o la siguiente ecuación (Seifert, 1958)³:

$$TEF = 37 - \frac{37 - TA}{0,68 - 0,0014 + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,75}}} - 0,29 TA (1 - \frac{HR}{100}) \quad (3)$$

donde TA es la temperatura del aire en °C, HR es la humedad relativa en % y V es la velocidad del aire en m/s.

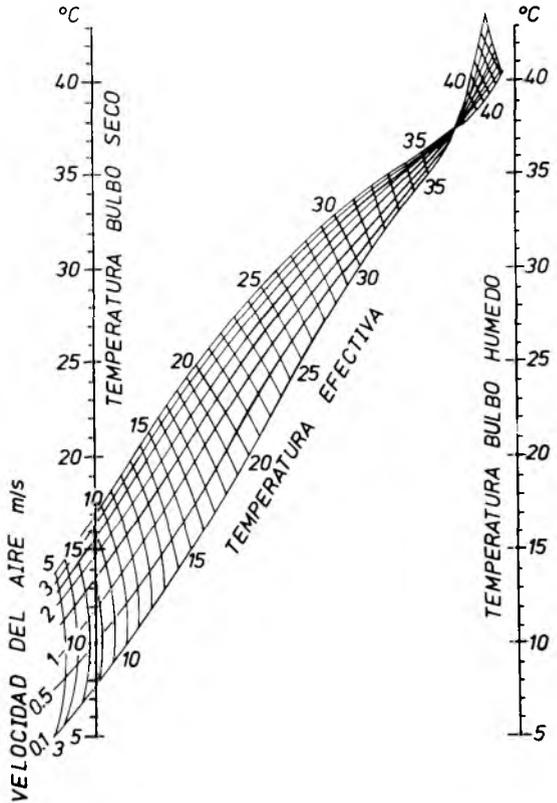


Fig. 3: Nomograma de temperatura efectiva (ASHRAE). Para obtener la temperatura efectiva debe interceptarse con una línea la temperatura del termómetro seco y húmedo y la velocidad del aire.

Hemos aplicado la ecuación (3) a los datos de la Isla de Pascua y de Juan Fernández y los resultados se muestran en la Tabla 2.

A pesar de la mayor carga térmica que implica la humedad relativa y la temperatura del aire más elevadas en la Isla de Pascua en verano, el efecto del viento hace bajar los valores de la temperatura efectiva acercán-

³ El nomograma y la ecuación (3) dan valores de TE ligeramente diferentes. Desconocemos la ecuación base del nomograma.

TABLA II

Valores de temperatura efectiva y elementos climáticos asociados para enero y julio en las islas de Pascua y de Juan Fernández

		ISLA DE PASCUA		ISLA JUAN FERNANDEZ	
		Enero	Julio	Enero	Julio
Temp. seco	°C	23,1	17,8	18,4	12,9
Temp. húmedo	°C	20,3	16,0	15,5	11,0
Hum. relativa	%	78	83	74	80
Vel. aire	m/s	3,0	4,1	4,3	4,6
Temp. efectiva		17,5	10,0	10,6	3,3
Temp. efectiva (*)		23,3	17,3	17,5	12,7

(*) Asumiendo aire calmo.

dolos a los rangos del “bienestar” (entre 16,6 y 20,4 °TE como han sido definidos por Seifert, 1958). En cambio, en la Isla Juan Fernández, si bien la temperatura del aire podría considerarse “agradable”, en verano, el efecto del viento hace descender la temperatura efectiva a valores cercanos a 10. Nótese que diferentes combinaciones de los parámetros básicos de la ecuación de TE dan valores semejantes en julio y enero en la Isla de Pascua y de Juan Fernández, respectivamente.

A modo de resumen de estas relaciones entre humedad, temperatura y velocidad del aire se presenta la Tabla 3 donde se consignan valores de estos tres elementos que dan la misma sensación térmica en el hombre.

Por ejemplo, se produce la misma sensación térmica con 100% de humedad relativa, 2,5 m/s de velocidad del aire y 25°C, que con 40% de humedad relativa, 0,5 m/s de velocidad del aire y la misma temperatura.

TABLA III

Combinación de ambientes atmosféricos que dan la misma sensación climática

Velocidad del aire m/s	Humedad relativa				°C
	20	40	75	100	
0,0	26	24	22	21	°C
0,5	27	25	23	22	
1,0	28	26	24	23	
1,5	28	27	25	24	
2,5	29	28	26	25	

La entalpía del aire

El contenido total de calor del aire está compuesto por el calor sensible y por el calor latente. El calor latente se libera como calor sensible cuando se produce la condensación del vapor de agua. Si la condensación tiene lugar dentro del aire, el calor de condensación es agregado y se

produce un aumento de la temperatura del aire. Una medida para el contenido calórico total de la atmósfera es la *entalpía* que puede expresarse mediante la siguiente ecuación (Lesko y Gregorczyk, 1969):

$$i = 0,24 + \frac{0,622}{755 - e} (0,46 T + 595) e \quad (4)$$

donde i es la entalpía del aire en kcal/kg, 0,24 el calor específico del aire seco en kcal/kg, 0,622 el peso específico del vapor de agua, 755 la presión media del aire en mm Hg, 0,46 el calor específico del vapor de agua en kcal/kg °C, 595 el calor de vaporización en kcal/kg a 0°C, T y e son, respectivamente, la temperatura en °C y la presión de vapor en mm Hg.

La entalpía del aire ha sido utilizada como un índice biometeorológico para evaluar las sensaciones térmicas y caracteri-

zar bioclimas a escala regional. La escala de Brazol (1954) que aparece resumida en la Tabla 4 define, sobre la base de 12 categorías, las condiciones de climas hipertérmicos, óptimos e hipotérmicos de acuerdo a los valores de entalpía. La aplicación de este índice en Chile nos permitió caracterizar la sensación térmica en una perspectiva temporal y espacial en gradientes latitudinales y altitudinales. Para el caso de las gradientes latitudinales se trabajó con altitudes normalizadas a 500 m (Hajek, 1979).

TABLA IV

Escala de sensación climática (*)

Grado	Sensación climática	Entalpía del aire kcal/kg	Clasificación antropoclimática		
12	Calor letal	> 31	S hipertérmicos		
11	Calor intolerable	26 - 31			
10	Calor sofocante	19 - 26			
9	Calor bochornoso	12 - 19			
8	Muy caluroso	11 - 12			
7	Bienestar	En verano (calor agradable)	10 - 11	M	I homeotérmicos
6		Máximo (otoño-primavera)	8,5 - 10	I	
5		En invierno (fresco suave)	7,5 - 8,5	I	
4	Fresco	6,0 - 7,5	L hipotérmicos		
3	Frío moderado	3,5 - 6,0			
2	Frío	2,5 - 3,5			
1	Frío glacial	< 2,5			

(*) (Según Brazol, 1954, modificada).

El óptimo (8,5 a 10 kcal/kg) se encuentra en el sector costero en la época de invierno y primavera y se desplaza hacia el verano a medida que se avanza en latitud (Fig. 4). La porción más cálida se extiende hasta los 38 grados de latitud sur. Más hacia el sur dominan categorías frías. En invierno domina la categoría "fresco" en el norte y "frío" en el sur, en el sector interior. El óptimo se reconoce sólo en la primavera y fines del verano en gran parte del interior del país.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible verificar que el gradiente latitudinal de 0,22 kcal/kg/grado de latitud, es similar

al gradiente altitudinal (kcal/kg/100 m) de la zona central (Hajek y Rubio, 1982).

La distribución regional de estas categorías aparece en la Tabla 5. Los climas óptimos de Chile se observan sólo en la zona centro-norte y hasta los 40° de latitud.

De acuerdo a lo que señala Brazol (1954), la entalpía del aire no expresa bien la sensación climática para los estados de "fresco" y "frío". Esto se explica por el poder refrigerante del viento, que acá no es tomado en cuenta. La sensación de frío resume la acción conjunta de una baja entalpía y de la velocidad del viento, con un efecto refrigerante directamente proporcional a esta velocidad.

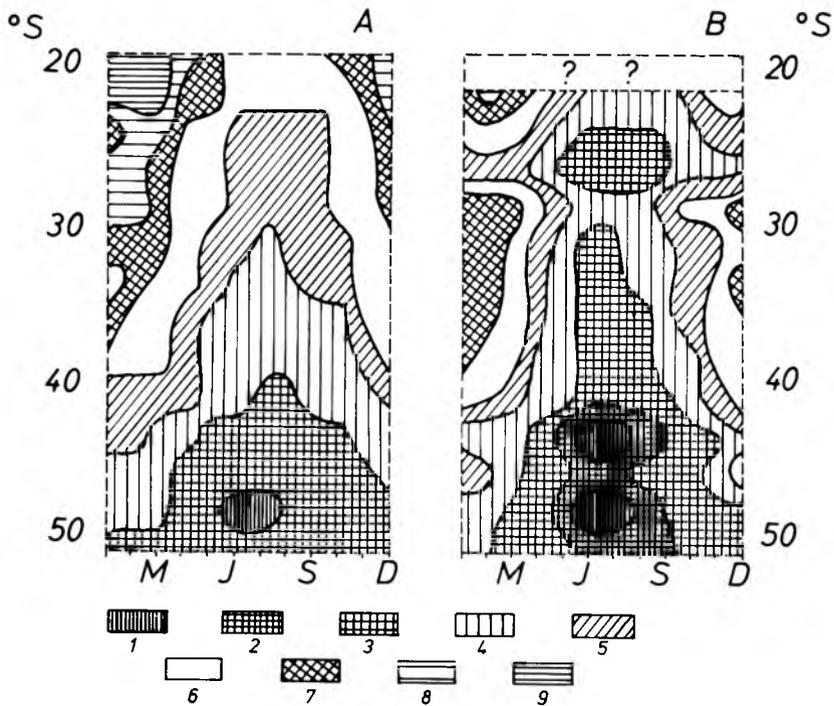


Fig. 4: Distribución de la entalpía del aire en Chile en localidades de costa (A) y de interior (B) en función de latitud (°S). Las categorías de 1 a 9 indicadas corresponden a los grados de sensación climática según Brazol (ver Tabla IV). Las isopletras del interior del país son más irregulares debido a la baja dotación de estaciones (Hajek, 1979).

TABLA V

Distribución porcentual de las diversas categorías de sensación térmica según Brazol en Chile, para algunas latitudes (*) (**)

Categorías	LATITUD							
	20		30		40		50	
	C	I	C	I	C	I	C	I
1							9	11
2								27
3					12	33	91	49
4				31	47	27		
5			49	21	41	16		
6	34	?	28	21		24		
7	26	?	23	27				
8	19	?						
9	21	?						
10								
11								
12								

* C = Costa; I = Interior; ? = Sin Estación.

** Hajek (1979).

De allí que para condiciones de frío se hayan ideado otros índices más eficientes en esta porción de la escala de sensación climática (Wilson, 1963), como el que revisaremos a continuación.

Wind chill index

A partir de sus investigaciones en la Antártica, Siple y Passel derivaron un índice para evaluar el efecto combinado de las bajas temperaturas y del viento. La mayor tasa de aumento del poder de enfriamiento se produce al incrementar el movimiento del aire desde la calma hasta aproximadamente

$2,2 \text{ m s}^{-1}$. La relación entre velocidad del viento y poder de enfriamiento no es lineal (Edholm, 1979).

La fórmula que expresa el "wind chill index" o índice de viento helado es:

$$H = (\sqrt{100V} + 10.45 - V)(33 - T) \quad (5)$$

donde H= Wind chill en $\text{kcal/m}^2/\text{hr}$. V= Velocidad del viento en m/s , T= Temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y 33 es la Temperatura de la piel.

La escala para evaluar las condiciones de la temperatura de viento helado aparecen en la Tabla 6.⁴

TABLA VI

Estados relativos del bienestar humano y efectos de enfriamiento atmosférico *

Wind Chill index	
600	Muy fresco. Considerado como confortable si se usa ropa de lana, soquetes, mitones, botas de esquí, gorro y cortavientos delgados de algodón; también mientras se esquía en terreno plano a más o menos 5 km por hr. (Pérdida calórica alrededor de $200 \text{ Kcal/m}^2/\text{hr}$).
800	Frío.
1000	Muy frío. Considerado desagradable para viajar en días nublados y con neblina.
1200	Extremadamente frío. Considerado desagradable para viajar en días de sol.
1400	Comienza el congelamiento de la piel humana desnuda, dependiendo de la actividad, radiación, tipo de piel y circulación. Viajar o vivir temporalmente en un refugio llega a ser desagradable.
2000	Viajar o vivir en refugios temporales llega a ser dañino. La piel expuesta se congela en menos de un minuto como promedio individual.
2300	La piel expuesta se congela en menos de 30 segundos como promedio individual.

* Wilson, 1963, modificado.

A modo de ejemplo y como parte de la evaluación de varias bases antárticas chilenas, mostramos la situación en días típicos de invierno y verano en cuanto a la marcha de los dos elementos que configuran el índice, como también el índice resultante (Fig. 5). En los meses de verano la temperatura es muy constante y relativamente elevada, observándose períodos en que no varía notablemente. Los meses de invierno presentan una mayor variabilidad en cuanto

a las temperaturas, encontrándose valores en un rango mucho más amplio que va desde -2 a -22°C . En ambas épocas, el viento está presente, si bien con una temperatura más elevada en la época de verano el efecto de enfriamiento mantiene los índices dentro de rangos tolerables. En invierno se potencia la baja temperatura con la alta velocidad del aire dando valores del índice que se acercan a 1500-2000 (Hajek y Cisternas, 1972).

⁴ La fórmula del "wind chill" no debe ser empleada para cantidades reales de pérdida calórica en $\text{kcal/m}^2/\text{hr}$, sino que como una tabla empírica y los valores deberán ser usados como números-índice en una escala relativa.

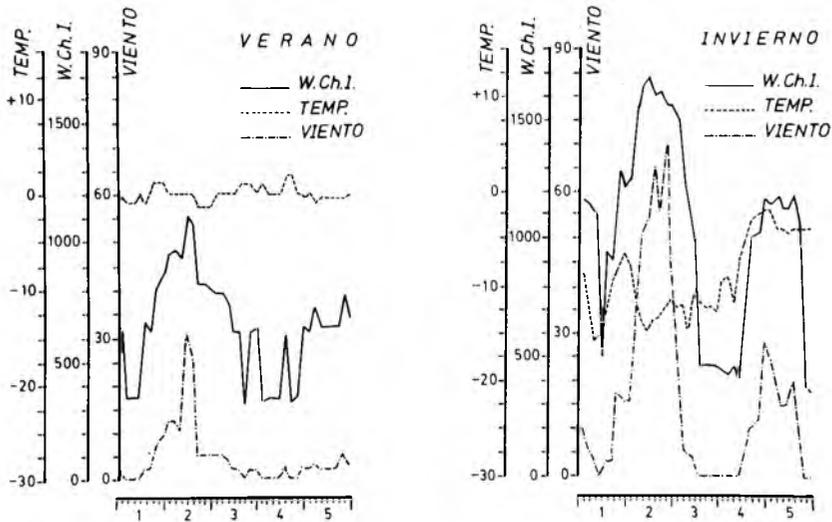


Fig. 5: Curso diario (valores trihorarios) de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), velocidad del viento (nudos) y del "wind chill index" para la Base Antártica Arturo Prat, en cinco días típicos de enero y julio de 1967 (Hajek y Cisternas, 1972).

Energía de la respiración

A propósito de la evaluación de los balances de energía, nos referíamos a los intercambios energéticos que se producen a nivel de los procesos respiratorios y a la energía invertida en ellos. Aplicando los principios establecidos por varios investigadores (Baumgartner *et al.*, 1974; Mayer,

1977) hemos analizado las situaciones para estaciones de costa e interior de Chile.

En la Tabla 7 se identifican los valores de energía de respiración para algunas localidades de este país. Se puede apreciar en todos los casos una secuencia latitudinal relativamente clara en la costa y en el interior para la energía de respiración, con leves variaciones, seguramente debidas a climas locales en

TABLA VII

Gastos promedio de energía de la respiración para estaciones seleccionadas de costa e interior de Chile (unidades en Kcal/día)

Estación	Lat.	Long	Enero	Julio	Año
				COSTA	
Iquique	20 $^{\circ}$ 12'	— 70 $^{\circ}$ 11'	172	207	191
Punta Tortuga	29 $^{\circ}$ 55'	— 71 $^{\circ}$ 22'	184	212	199
Talcahuano	36 $^{\circ}$ 43'	— 73 $^{\circ}$ 07'	195	228	212
Isla Guafo	43 $^{\circ}$ 34'	— 74 $^{\circ}$ 45'	212	238	227
Evangelistas	52 $^{\circ}$ 24'	— 75 $^{\circ}$ 06'	232	253	243
INTERIOR					
Copiapó	27 $^{\circ}$ 21'	— 70 $^{\circ}$ 24'	185	227	205
Santiago	33 $^{\circ}$ 27'	— 70 $^{\circ}$ 42'	193	244	218
Talca	35 $^{\circ}$ 26'	— 71 $^{\circ}$ 40'	179	233	208
Río Bueno	40 $^{\circ}$ 19'	— 72 $^{\circ}$ 55'	194	239	220
Balmaceda	45 $^{\circ}$ 54'	— 71 $^{\circ}$ 43'	232	279	254

el interior del país. El aumento latitudinal de los gastos respiratorios implica aproximadamente 1.6 kcal/día por grado de latitud, para el caso de la energía respiratoria en las estaciones costeras en el mes de enero ($r=0,98$ $p < 0,001$) y de 1,9 kcal/día por grado de latitud para el mes de julio ($r=0,98$ $p < 0,001$). Las relaciones latitudinales para las estaciones del interior son menos claras por las diferencias de altitudes.

El aumento de 5 kcal/día por cada 100 metros de incremento altitudinal enunciado por Baumgartner *et al.* (1974) se cumple aproximadamente en la región central de Chile con 3 kcal/100 m ($r=0,93$ $p < 0,001$) y 4 kcal/100 m ($r=0,99$ $p < 0,001$) para enero y julio, respectivamente.

A modo de conclusión

Los índices que se han discutido cumplen propósitos prácticos importantes, aun cuando ellos no tengan una amplia base experimental. La proyección de su aplicación al campo de la Medicina, de la Ecología, de la planificación urbana y de la adecuación de los lugares de trabajo y habitaciones del hombre les otorga una amplia perspectiva.

Sin embargo, sería deseable que los índices pudiesen someterse a una revisión experimental en nuestro medio, debido a la necesidad de calibrar sensaciones de bienestar climático con las poblaciones locales y corregir consecuentemente los parámetros de evaluación. Algunos pasos se están encaminando en esa dirección.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente a María Elena Ortiz por sus valiosos comentarios para la adecuación del texto.

REFERENCIAS

- ABEL, H.; BAUMGARTNER, A.; DONLE, W. (1972) Energieverbrauch zur Erwaermung und Wasserdampfsaettigung der Atemluft. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B.* 20, 373-400.
- ABEL, H.; BAUMGARTNER, A.; DONLE, W. (1977) Ueber die Approximierbarkeit der Jahresablaeufe von Infektionskrankheiten durch physikalische Kennwerte. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B.* 24, 373-386.
- ASHRAE (1977) *Fundamentals Handbook*. Amer. Soc. Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. New York.
- AULICIEMS, A. (1981) Psycho-physiological criteria for global zones of building design. *Biometeorology* 8: 283. Proc. IX Int. Congr. Biometeorology. Swets and Zeitlinger B.V. Lisse.
- BAUMGARTNER, A.; ABEL, H.; DONLE, W. (1974) Energetik der Atmung im Gebirge. *Zbornik meteoroloskih i hidroloskih radova* 5, 227-230.
- BRAZOL, D. (1954) Bosquejo bioclimático de la República Argentina. *Meteoros* 4, 381-394.
- BREZOWSKY, H. (1961) Der Einfluss des Wetters auf den Organismus. *Materia Medica Nordmark*. 2. Sonderh. 1-2.
- BREZOWSKY, H. (1963) Der Einfluss des Wetters auf den lebenden Organismus. *Elektromedizin* 8, 89-94.
- CROOME, D.J. (1980) Man, environment and buildings. *Building and Environment* 15, 265-238.
- EDHOLM, O.G. (1979) *Hombre, calor y frío*. Omega. Barcelona.
- FANGER, P.O. (1970) *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- FULLER, F.H.; SMITH, P.E. (1981) Evaluation of heat stress in a hot workshop by physiological measurements. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 42, 32-37.
- GIVONI, G. (1969) *Man, climate and architecture*. Elsevier. Amsterdam.
- GREGORCZUK, M.; CENA, K. (1967) Distribution of effective temperature over the surface of the earth. *Int. J. Biometeor.* 11, 145-149.
- GREGORCZUK, M. (1968) The distribution of air enthalpy on the globe. *Z.f. Meteorologie* 20, 204-208.
- GRIFFITHS, J.F. (1976) *Climate and the environment*. Paul Elek. London.
- HAJEK, E.R.; CISTERNAS, R. (1972), Aplicación del "wind chill index" al estudio bioclimático de tres bases antárticas chilenas. *INACH Ser. cient.* 2, 25-42.
- HAJEK, E.R. (1979) Die bioklimatischen Verhaeltnisse in Chile auf Grund der Luftenthalpie. *Muench. Univ. Schr. Wiss. Mitt. N° 35*: 149-154.
- HAJEK, E.R.; GUTIERREZ, J.R.; ESPINOSA, G. (1981) Seasonality of conception in human populations in Chile. *Int. J. Biometeor.* 25, 281-291.
- HAJEK, E.R.; RUBIO, P. (1982) Bioclimatología de montaña en Chile. II. Entalpía del aire. *Rev. Med. Chile* 110, 228-232.
- JENDRITZKY, G. (1971) Zur Problematik der medizin-meteorologischen Bewertung des thermischen Milieus. *Z. angew. Baeder u. Klimaheilk.* 24, 407-414.
- JENDRITZKY, G.; SOENNING, W. (1979) Der Einfluss der Strahlung auf die thermischen Bedingungen in der Klimatherapie. *Z.f. Phys. Med.* 6, 283-291.
- LANDSBERG, H.E. (1972a) *El tiempo y la salud*. EUDEBA. Buenos Aires.
- LANDSBERG, H.E. (1972b) The assessment of human bioclimate. *WMO Tech. Note 123*. World Meteorological Organization. Geneva.
- LESKO, R.; GREGORCZUK, M. (1969) Bioklimatische Verhaeltnisse an Kuesten des Schwarzen Meeres und der Adria auf Grund der Luftenthalpie. *Wetter u. Leben* 21, 160-166.
- LOWRY, W. (1969) *Weather and Life*. Academic Press, New York.
- MAYER, H. (1977) Vergleichende Berechnung des Energieumsatzes bei der Atmung. *Int. J. Biometeor.* 21, 319-324.
- MUNN, R.E. (1970) *Biometeorological Methods*. Academic Press. New York.
- OLGYAY, V. (1963) *Design with climate*. Princeton Univ. Press. Princeton.
- OYARZUN, C.E. (1978) *Influencia de factores bioclimá-*

- ticos sobre el balance energético por respiración en el hombre, en tres lugares (Isla Teja, bosque y pradera).* Tesis. Universidad Austral de Chile.
- REIFSNYDER, W.E. (1979) A bioclimatology for outdoor recreation. *Muench, Univers. Schr. Wiss. Mitt. N° 35*, 126-131.
- SARGENT, F.; TROMP, W.S. (1964) A survey of human biometeorology. *WMO Tech. Note 65*. World Meteorological Organization. Geneva.
- SCHMUCK, M.G. (1972) *Estudio de carga térmica en mineros del carbón de Lota expuestos a calor.* Tesis. Univ. de Concepción.
- SEIFERT, G. (1958) Das Klima der DDR – dargestellt durch Effektivtemperaturen. *Z.f. Meteorologie 12*, 328-338.
- STAIGER, H.; REINKE, R.; JENDRITZKY, G. (1980). Waermebelastung – Andauer und abendliche Abkuehlung. *Z.f. Baeder u. Klimaheilk. 27*, 284-299.
- TROMP, S.W. (1963a) *Medical Biometeorology*. Elsevier. Amsterdam.
- TROMP, S.W. (1963b) Human Biometeorology. *Int. J. Biometeor. 7*, 154-158.
- TROMP, S.W. (1964) Weather, climate and man. En *Handbook of Physiology*. Dill D.B. (ed.) Vol. 4, 283-293. Adaptation to the Environment. American Physiological Society.
- WEIHE, W.H. (1979) Climate, health and disease. *WMO World Climate Conf. Overview Paper 13*, mimeogr. 56 p.
- WILSON, O. (1963) Cooling effect of an antarctic climate on man. *Norsk Polarinstitut Skr. 128*, 1-32.