
Exposición ambiental después de una catástrofe natural

INTRODUCCIÓN

Es común considerar a los refugios de urgencia, las ropas y las mantas, como artículos que pueden salvar la vida, sin los cuales las víctimas de un desastre estarían expuestas a un alto riesgo de muerte por exposición al medio ambiente. La finalidad de este capítulo es examinar tal criterio y establecer un esquema de referencia con el cual pueda valorarse el riesgo antedicho. (Este comentario se ha limitado al tema de exposición ambiental; el problema del suministro de albergues, sin duda, plantea situaciones mucho más complejas. A este respecto conviene consultar el trabajo de *Davis* [10].)

El mencionado esquema de referencia por fuerza tiene que ser teórico ya que no existe información confiable en la bibliografía respecto a muerte por exposición ambiental, después de cualquier desastre terrestre reciente. (Se conocen comunicados ocasionales que señalan un número importante de muertes por exposición posterior a algunas calamidades ocurridas antes de la segunda guerra mundial como el sismo de Erzincan, Turquía, en 1939 [2].) Con base en lo anterior, puede deducirse que no existe ningún problema por exposición, y que las personas que mueren por ella, después del desastre, quizá fallezcan en sitios remotos, en los cuales no se cuenta con instalaciones clínicas adecuadas que permitan la certificación fidedigna de las causas de muerte, por esta circunstancia, no es permisible suponer que no haya habido ninguna muerte por exposición.

El argumento que exponemos en este capítulo consiste en que si bien las consideraciones teóricas indican que la exposición ambiental es una consecuencia proba-

ble de los desastres, las observaciones acerca de la capacidad de los supervivientes para protegerse por sí mismos contra el entorno, sugieren que las muertes por exposición después del desastre son escasas. En el campo teórico, el principal impacto de dicha exposición sería la necesidad de alimento por parte de las poblaciones afectadas, y quizá una mayor prevalencia de desnutrición proteínocalórica (PC). Como cosa paradójica, dicho efecto prodría ser más importante después de desastres en países cálidos que en regiones templadas o frías.

Ante la falta de observaciones publicadas, que guarden relación directa con la exposición al ambiente, después de desastres, se acude a dos enfoques para abordar el tema: 1) examen de los efectos fisiológicos de las condiciones ambientales específicas, en los individuos, y 2) examen de las condiciones ambientales conocidas a las que se exponen las personas después de desastres naturales.

Presentamos más adelante un resumen de los aspectos teóricos de este tema, basado en referencias [11, 17-19].

FISIOLOGÍA DE LA EXPOSICIÓN AMBIENTAL

Los humanos, como otros mamíferos, son homeotermos, es decir, regulan su temperatura dentro de límites muy precisos, al equilibrar el calor producido por el metabolismo de alimentos, con el que se pierde o gana en el entorno. El hombre occidental "estándar", por ejemplo, ingiere unas 3 000 kcal/día de las cuales en promedio el 95% son transformadas en calor; ello es equivalente a la producción térmica de 2 kcal/h/kg de peso corporal, y si el organismo no perdiera calor, su temperatura aumentaría 2°C/hora.

La ventaja biológica de la homeotermia es que el sujeto tiene una mayor posibilidad de existir independientemente del medio. Sin embargo, en condiciones ambientales extremas habrá que aumentar las cantidades necesarias de alimentos para conservar el cuerpo caliente, salvo que se evite la pérdida calórica. El organismo puede perder calor hacia el medio, por cuatro vías: radiación, conducción, convección y evaporación. El cuerpo puede captar o ganar calor del ambiente por radiación, conducción y convección. Existen variaciones considerables respecto de la importancia de cada una de las vías mencionadas en situaciones ambientales diversas.

Radiación

El calor radiante, a semejanza de otras formas de radiación, por ejemplo, la luz, las ondas de radio o los rayos X, es una forma de energía ondulatoria electromagnética que se trasmite de su fuente al receptor a la velocidad de la luz. Todos los objetos irradian calor, hacia los más fríos, sea cual sea la temperatura del aire que se interponga entre ellos. La temperatura de la superficie del cuerpo humano varía extensamente, pero aproximadamente es de 33°C y sólo si la temperatura del entorno es menor que la expresada, aquel perderá calor por radiación.

Cuando hay algunas "zonas calientes" en el ambiente, el cuerpo puede ganar y perder simultáneamente calor por radiación, como sucede al sentarse alrededor de una fogata en una noche fría o por exposición directa al sol.

La rapidez con que se pierde o gana calor por radiación, en relación con cada unidad de superficie corporal (el flujo calórico) en toda la gama de temperaturas ambientales que son importantes en este comentario, es lineal y aproximadamente proporcional a la diferencia térmica entre la superficie corporal y el entorno.

En la práctica, la cantidad de calor que el cuerpo intercambia por radiación, con su medio ambiente, depende no sólo de la diferencia o gradiente térmico, sino también del área de piel expuesta al descubierto y de la naturaleza de los medios de recubrimiento. Las ropas disminuyen la temperatura superficial del área que cubren, lo cual restringe las pérdidas; y también refleja la radiación incidente. Por ejemplo, los vestidos de colores claros reflejan hasta el 70% de los rayos incidentes, y el hecho de permanecer a la sombra elimina del todo cualquier efecto radiante derivado del sol. A pesar de lo señalado, como lo sabe cualquier persona que se ha expuesto al sol tropical, los efectos calóricos de la radiación pueden ser extraordinarios: por ejemplo, *Blum* [4], ha calculado que el impacto promedio de la luz solar en un varón desnudo, es de unas 240 kcal/h, suponiendo que la piel blanca refleja 43% de la energía recibida.

Las pérdidas calóricas por radiación, también, son muy variables, aunque a bajas temperaturas pueden comprender del 60 al 65% de todo el calor que pierde el cuerpo [18].

Conducción

La conducción es la transferencia directa de calor de un objeto a otro con el que se halle en contacto. La rapidez con que se pierde calor por conducción es directamente proporcional al gradiente térmico entre los dos objetos, y su capacidad para conducir calor. Cotidianamente, se usan objetos seleccionados por su carencia de conductividad (como la lana o las ropas). La vida en sí es más tolerable porque el medio que nos rodea, el aire, posee una conductividad extraordinariamente pequeña; esta es la razón por la que el aire ambiente a 18°C se siente tibio y grato, en tanto que el agua a la misma temperatura se siente fría.

En circunstancias corrientes, la pérdida calórica por conductividad hacia el entorno es pequeña, pero es fácil concebir situaciones después de desastres, en las que la pérdida mencionada puede adquirir enorme importancia. Por ejemplo, yacer sobre un piso de piedra, o la inmersión en agua, cuya temperatura es menor que la corporal, pueden aumentar en grado extraordinario las pérdidas calóricas por conducción. Un varón desnudo de talla promedio, sumergido en agua a 5°C, sufrirá los efectos devastadores de la hipotermia en lapso de 20 a 30 min; y a 15°C sobreviviría de 1.5 a 2 horas.

El límite de la tolerancia voluntaria a la inmersión (señalado por el comienzo de náuseas, malestar, calambres y disritmias cardíacas) guarda relación con la temperatura cutánea e interior, y la producción máxima de calor efectuada por el cuerpo. *Boutelier* y col. [5] han demostrado que las personas delgadas y desnudas presentan una tolerancia de sólo dos horas dentro agua a 26°C. La muerte por hipotermia ocurre cuando la temperatura rectal desciende a 25°C, aproximadamente.

En circunstancias normales, la conducción no es un mecanismo importante de pérdida calórica, pero la adquiere en grado sumo en el intercambio térmico dentro del cuerpo. El calor se pierde a partir de la superficie corporal, y la rapidez de su transmisión desde los órganos internos depende de la conductividad de los tejidos orgánicos. Los tejidos animales son definitivamente buenos aislantes (la constante de conductividad térmica de los tejidos humanos es de $0.0005 \text{ cal/seg/cm}^2/\text{cm}/^\circ\text{C}$, en comparación, por ejemplo, con el vidrio, que tiene una constante de $0.0025 \text{ cal/seg/cm}^2/\text{cm}/^\circ\text{C}$, o la madera blanda, cuya constante es de $0.00009 \text{ cal/seg/cm}^2/\text{cm}/^\circ\text{C}$).

Los cambios en la corriente sanguínea modifican la conductividad de los tejidos, ésta puede variarse hasta en 10 veces por cambios fisiológicos en la corriente hemática, por vasodilatación o por vasoconstricción. Los mecanismos mencionados de homeostasia modifican el gradiente térmico entre el interior del organismo y la superficie cutánea. La vasoconstricción incrementa el gradiente de temperatura de tal forma que se conserva la temperatura cutánea menor en cualquier tipo de metabolismo, y aminora la pérdida calórica hacia el entorno. La vasodilatación posee el efecto contrario.

Las ropas aminoran la pérdida calórica hacia el ambiente, por medio del mismo mecanismo. Las ropas normales de una persona occidental tienen un valor de aislamiento de un clo (el "clo" es la unidad que se usa para estos fines y se define como el grado de aislamiento que permitirá el paso de una $\text{kcal/m}^2/\text{h}$ con un gradiente térmico de 0.18°C , entre los dos lados), de tal modo que la temperatura superficial de las ropas es menor que la de la piel; la pérdida de calor se reduce de manera correspondiente.

Convección

La pérdida calórica por conducción, como se mencionó entraña el paso de calor desde el cuerpo a la superficie con la que esté en contacto; la pérdida por convección implica la transferencia de calor desde la superficie corporal hacia el fluido que lo rodea, es decir, aire o agua con que se ha puesto en contacto el cuerpo.

La importancia posible de la convección para la pérdida de calor corporal es evidente para cualquier persona que se ha sentado al paso de una corriente de aire o en el viento. Se ha demostrado que la rapidez de la pérdida calórica por este mecanismo varía de forma lineal con la diferencia de temperaturas entre la piel y el aire, y con la raíz cuadrada de la velocidad del viento.

La relación anterior permite cuantificar los efectos enfriantes del viento, al expresar los efectos de la velocidad del aire en las pérdidas por convección, en términos de los cambios de la temperatura ambiental, la cual produciría el mismo resultado. Por ejemplo, el cambio en la velocidad del viento de 0.9 m/s (3.2 km/h) a 4.5 m/s (16 km/h) tiene casi el mismo efecto en la pérdida de calor por convección a 20°C , que una disminución de 4°C en la temperatura. A temperaturas menores, el efecto es mayor para una velocidad dada del viento. A 0°C el mismo cambio en la velocidad del viento equivale a un decrecimiento de 14°C de temperatura. Los cálculos anteriores son sólo aproximaciones por que no tienen en consideración los efectos

TABLA I. Temperatura ambiental mínima calculada para lograr comodidad térmica por largo tiempo

Actividad corporal	Viento, cielo y altura	Temperatura ambiente de mínima calculada para lograr comodidad térmica por largo tiempo °C		
		persona desnuda (0 clo)	traje de negocios (1 clo)	traje ártico (4 clo)
Posición sedente tranquila	sin viento, cielo nublado, nivel del mar	28	21	1
Posición sedente tranquila	5 millas/hora, nublado, nivel del mar	31	24	4
Posición sedente tránquila	25 millas/hora, nublado, nivel del mar	32	26	6
Posición sedente tranquila	5 millas/hora, soleado, nivel del mar	24	18	-2
Posición sedente tranquila	5 millas/hora, soleado, a 6 600 m	19	12	-8
Marcha, 3.5 millas/hora	5 millas/hora, nublado, nivel del mar	25	12	-29

Modificado de la tabla de *Newburgh* [19].

de la velocidad del viento y las temperaturas ambientales en las pérdidas inducidas por otros mecanismos, y suponen que la temperatura cutánea permanece en un nivel constante de 31 °C; sin embargo, permiten entender la enorme importancia del llamado factor de “enfriamiento por el viento”, incluso por corrientes aéreas de velocidad pequeña. La tabla I muestra el nivel de aislamiento por ropas, necesario para la comodidad física duradera en diversos entornos. Por ejemplo, para una persona que usa un “clo”, situación típica existente en muchos países en vías de desarrollo, en un medio sin viento, y estando aquella en reposo, ello es posible solamente a temperaturas de 21 °C o mayores.

Evaporación

El agua absorbe energía al pasar del estado líquido al gaseoso, energía que ha sido llamada “calor latente de evaporación”. La cifra para el agua es de 0.58 kcal/g a temperatura normal de la piel. El agua se evapora del cuerpo por tres vías: la que se pierde por el aire espirado; la difusión pasiva a través de la piel, y la secreción activa en la piel por las glándulas sudoríparas.

La rapidez con que el cuerpo pierde agua por evaporación, depende de la velocidad de la pérdida de agua. La rapidez de eliminación de agua por el aire ambiente depende de la diferencia de la presión de vapor en la interfase piel/aire, más aún, del aire ambiente, y de la velocidad de la corriente del viento, tal como ocurre con la convección, las pérdidas por evaporación varían con la raíz cuadrada de la velocidad del viento.

Si la temperatura del medio es menor que la de la piel, las pérdidas calóricas por evaporación son pequeñas y permanecen esencialmente constantes, sea cual sea el índice térmico y la velocidad del viento. En un adulto, esta “pérdida insensible” comprende unos 30 g/h, que equivale a una pérdida calórica de 400 kcal/día; sin embargo, conforme las temperaturas ambientales aumentan por arriba de la de la piel y el cuerpo no pierde calor por otras vías, la evaporación por medio del sudor adquiere una importancia cada vez mayor.

La velocidad de sudación varía enormemente en diferentes ambientes. En algunos experimentos se han señalado tasas incluso de 4 litros/h y en situaciones más reales, como sería la marcha bajo el sol directo, a 40 °C, las pérdidas pueden llegar a 1 litro por hora. Sentarse en la sombra a la misma temperatura puede hacer que se pierdan 0.5 litros de sudor por hora.

El organismo se adapta a la deshidratación de poca magnitud, y es importante reponer el agua y el sodio perdidos. La concentración de cloruro de sodio en el sudor de personas aclimatizadas, es de 1 a 1.5 g/litro.

CONCEPTO DE TERMONEUTRALIDAD

La exposición hasta este momento ha señalado que aun cuando el organismo puede perder calor, un individuo, dentro de ciertos límites, tiene la facultad de controlar la velocidad de dicha pérdida por medio de mecanismos fisiológicos, como el flujo de sangre por la piel, y también por sudoración. Al controlar las pérdidas calóricas se crean diversas situaciones ambientales en las que la generación térmica está en equilibrio con la pérdida calórica; esta “zona” de temperaturas ha sido llamada de termoneutralidad (a menudo se define como los “límites de temperatura ambiente dentro de los cuales el metabolismo se encuentra en niveles mínimos, y en cuyo interior se logra la regulación térmica únicamente por medio de procesos físicos, sin intervención de la evaporación; fig. 1).

Si la temperatura ambiental disminuye a niveles menores que la zona de termoneutralidad, el control de la pérdida calórica no basta para conservar la temperatura corporal. En esta situación, el metabolismo debe aumentar o disminuir dicha temperatura. Aquella en la cual se manifiesta el incremento del metabolismo ha recibido

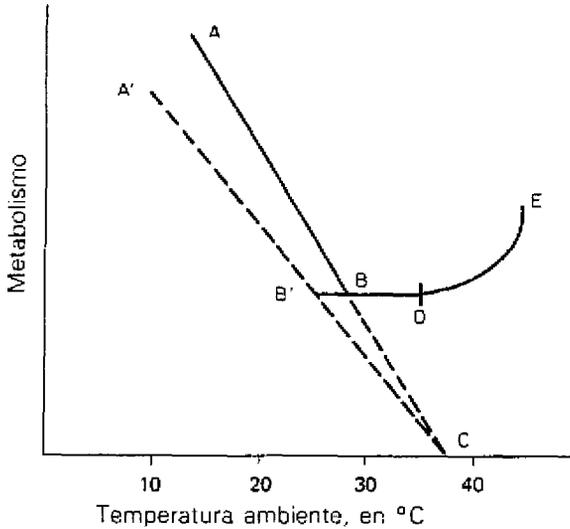


FIGURA 1. Esquema que señala el concepto de termoneutralidad. La producción calórica permanece constante y es mínima (zona termoneutral) en la gama de temperaturas de B/B'-D. Por debajo de B/B' y por arriba D (TCS) aumenta la producción calórica. La magnitud de la zona de termoneutralidad (BD o B'D) es mayor cuando aumenta el aislamiento corporal: por debajo de B/B' el aislamiento ya no conserva el calor. El metabolismo aumenta en una razón proporcional al gradiente entre la temperatura interna del cuerpo y la del ambiente. La línea AB extrapola a la temperatura interna (C) con metabolismo cero; cuanto mayor sea el aislamiento, menor será la inclinación del "nivel" (A'B'). Figura reproducida con permiso de Maclean y Emslie-Smith [18].

el nombre de "temperatura crítica inferior (TCI)" (punto B; fig. 1). De forma semejante, si la temperatura ambiental aumenta se llega a otra, denominada "crítica superior" (TCS), por arriba de la cual se necesita una mayor actividad metabólica para regular la temperatura corporal por medio del sudor. Por debajo de TCI, la actividad metabólica aumenta (mediante trabajo activo, sudoración y un proceso conocido como "termogénesis por mecanismos químicos") que corresponden con bastante aproximación al decrecimiento de la temperatura; por arriba de TCS, la relación no es lineal.

En virtud de todo lo comentado, dentro de la zona de termoneutralidad se gasta un mínimo de energía para conservar la temperatura corporal en un nivel constante, pero, por arriba y por debajo de las temperaturas críticas, el calor corporal puede conservarse solamente por medio del consumo de energía adicional. En algún punto, por debajo de TCI, la actividad metabólica no es lo suficientemente grande y la temperatura del cuerpo disminuye. La figura 2 señala la relación entre la producción calórica por metabolismo, las pérdidas térmicas y la temperatura corporal interna o profunda.

Las cifras de temperaturas críticas medidas en experimentos no se definen con tanta exactitud como podría indicar la figura 1. Los experimentos en el ser humano tienden a producir relaciones curvilíneas en los puntos de transición, y no las inflexiones netas que se señalan en el esquema. También, las cifras reales de las temperaturas críticas no son fijas sino que varían con arreglo a talla, edad, composición

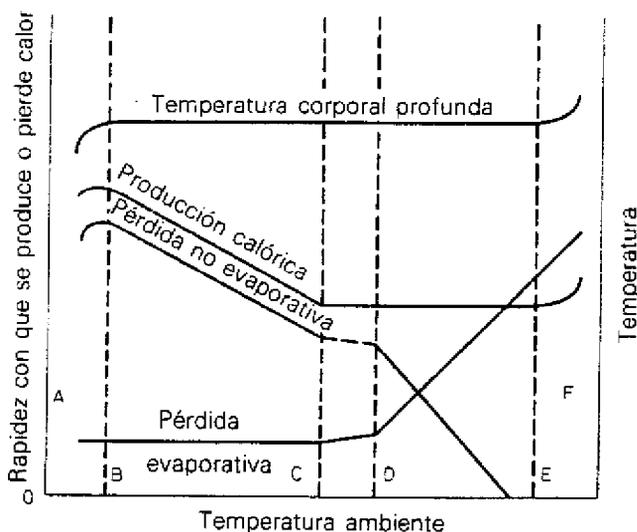


FIGURA 2. Esquema que representa la relación entre producción de calor, pérdida por evaporación y por mecanismos no evaporativos, y temperatura corporal profunda en un animal homeotermo. A = Zona de hipotermia; B = temperatura del metabolismo máximo e hipotermia incipiente; C = temperatura crítica (CTI en la fig. 1); D = temperatura de incremento notable en la pérdida por evaporación; E = temperatura del incremento hipertérmico incipiente (TCS en la fig. 1); F = zona de hipertermia; CD-zona del mínimo esfuerzo termoregulator; CE-zona de metabolismo mínimo (zona termoneutral en la fig. 1) con permiso de Mount (17).

corporal y aislamiento del individuo en cuestión. La oblicuidad de la línea AB en la figura 1 es un índice del nivel de aislamiento, es decir, conforme el punto A se desplaza hacia el A', disminuye la TCI indicada por el punto B'.

Aún más, no corresponde a la realidad imaginarse a una persona con un metabolismo constante, pues éste muda de acuerdo con sus actividades y con el consumo de alimentos. El metabolismo es mínimo en la persona en ayunas y en reposo; es mayor en aquella que no guarda ayuno ni reposo, y todavía más en la persona que no ayuna y que hace ejercicio. Como señala la figura 1, según disminuye el metabolismo, aumenta la temperatura crítica inferior.

Si consideramos las limitaciones mencionadas, la TCI para un adulto de complejión europea típica, en estado basal (en reposo, con un ayuno de 12 a 14 h), sería de 26 a 28 °C; las ropas ligeras dentro de la casa disminuirían dicha cifra a 24 °C, en tanto que la ropa ligera y el consumo de alimentos, en las cantidades promedio para la cultura occidental, la disminuirían todavía más a 18 °C o aproximadamente a la temperatura ambiente. De forma más real dentro del marco de los desastres que afectan preferentemente a personas pobres en países en vías de desarrollo, en que el consumo de alimentos podría ser el 60% del que priva en regiones que cuentan con mayores recursos económicos, aumentarían las cifras de TCI a 30 °C para el sujeto en estado basal y a 20 °C para el que lleva vestidos.