

# BALANCE ENERGÉTICO EN EL SER HUMANO

## OBTENER LA ECUACIÓN PARA ALCANZAR LA TEMPERATURA DE EQUILIBRIO EN EL CUERPO HUMANO

---

El ser humano es un animal homeotermo. ¿Qué significa esto? Que bajo condiciones fisiológicas normales mantiene constante su temperatura corporal entre unos márgenes muy estrechos:

$$T_{eq} = (36.6 \pm 0.38) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

, y se mantiene así a pesar de las amplias oscilaciones en la temperatura ambiental. La actividad física, patrones de sueño, ciclo menstrual, etc. contribuyen a variaciones en esta temperatura. Cabe señalar que existen diferencias regionales importantes, pudiendo encontrarse diferencias de hasta 10-15°C entre la existente en los órganos centrales (corazón, cerebro y tracto gastrointestinal) y las puntas de los dedos.

El mantenimiento de una temperatura corporal dentro de los límites anteriormente expuestos solo es posible por la capacidad que tiene el cuerpo para poner en marcha una serie de mecanismos que favorecen el equilibrio entre los que facilitan la producción de calor y los que consiguen la pérdida del mismo. Los mecanismos de a los que nos referimos serán expuestos a continuación:

### I. MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

#### Metabolismo basal

Nuestro organismo está constituido de órganos. La asociación de órganos da lugar a sistemas y aparatos. Para que sea posible nuestra vida, el organismo no puede dejar de funcionar en ningún momento, y esto conlleva un consumo energético. La energía mínima que necesita un ser humano para que su organismo desempeñe las funciones vitales se llama METABOLISMO BASAL. En él se incluye la respiración, el bombeo de sangre a través del aparato circulatorio, el mantenimiento del sistema óseo y muscular, las competencias de los aparatos digestivo y excretor, etc.

Que, ¿de dónde saca el organismo tal energía? Pues esta energía proviene esencialmente de los alimentos que ingerimos a diario; particularmente, de aquellos nutrientes que nos proveen de energía: Hidratos de carbono, Proteínas y Grasas. La energía que aportan los mismos está almacenada en forma de energía química. Durante la digestión, los alimentos se degradan en hidratos, proteínas y grasas, y eventualmente son absorbidos por la sangre a nivel intestinal. Una vez en el torrente sanguíneo, serán empleados como sustratos en el metabolismo celular o almacenados en el cuerpo. De la combustión metabólica de hidratos, proteínas y grasas en

las células, se forman “paquetes energéticos” de un estado molecular llamado ATP (adenosina de trifosfato), que es un compuesto de alta energía que producen las células. Cuando un órgano necesita energía para seguir funcionando, las células que componen los tejidos de ese órgano liberan paquetes de ATP, descomponiéndose éstos y liberando su energía al órgano.

La actividad corporal es lo que genera calor en el cuerpo; según el Basal Metabolic Rate BMR se obtiene que para:

$$\text{HOMBRES} \quad 832 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ día} = 40.32 \text{ W}/\text{m}^2$$

$$\text{MUJERES} \quad 772 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ día} = 37.41 \text{ W}/\text{m}^2$$

La estimación se ha hecho en base a un hombre de 35 años, de 179cm de altura y 77.5Kg de peso. Su superficie corporal era de  $1.91\text{m}^2$  usando un modelo de cilindros.

## II. MECANISMOS DE PÉRDIDA DE CALOR

### a) Radiación

La pérdida de calor por radiación significa pérdida de calor en forma de rayos infrarrojos, que son ondas electromagnéticas. Es decir, existe un intercambio de energía electromagnética entre el cuerpo y el medio ambiente u objetos más fríos y situados a distancia. La cantidad de radiación emitida varía en relación al gradiente que se establece entre el cuerpo y el medio ambiente.

La expresión para el calor perdido por radiación en un cuerpo humano por unidad de superficie es:

$$\frac{Q_R}{S} = \varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4) \approx 6(T - T_0) \text{ W}/\text{m}^2$$

siendo:

$$\sigma \equiv \text{cte Stefan Boltzmann} \equiv 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}^4$$

$$\varepsilon \equiv \text{emisividad de la piel} \cong 1$$

### b) Convección

Es la transferencia de calor desde el cuerpo hasta las partículas de aire o agua que entran en contacto con él. Estas partículas se calientan al entrar en contacto con la superficie corporal y posteriormente, cuando la abandonan, su lugar es ocupado por otras más frías que a su vez son calentadas y así sucesivamente. La pérdida de calor es proporcional a la superficie expuesta.

La expresión para el calor perdido por convección en un cuerpo humano por unidad de superficie es:

$$\frac{Q_c}{S} = \frac{k \cdot Nu}{L} (T - T_0) \approx 2.6(T - T_0) \text{ W/m}^2$$

, donde:

$$k_{\text{aire}} = 0.026 \text{ W/mK}$$

$$Nu \equiv \text{número de Nusselt} \cong 200$$

$$L \equiv \text{altura del hombre} \cong 2 \text{ m}$$

### c) Conducción

Es la pérdida de pequeñas cantidades de calor corporal al entrar en contacto directo la superficie del cuerpo con otros objetos más fríos como una silla, el suelo, una cama, etc. Cuando una persona desnuda se sienta por primera vez en una silla se produce inmediatamente una rápida conducción de calor desde el cuerpo a la silla, pero a los pocos minutos la temperatura de la silla se ha elevado hasta ser casi igual a la temperatura del cuerpo, con lo cual deja de absorber calor y se convierte a su vez en un aislante que evita la pérdida ulterior de calor. Habitualmente, por este mecanismo, se puede llegar a una pérdida de calor corporal del 3%. Sin embargo, este mecanismo adquiere gran importancia cuando se produce una inmersión en agua fría, dado que la pérdida de calor por conductividad en este medio es 32 veces superior a la del aire.

Como su aportación es ínfima, no es necesario añadirla en los cálculos.

### d) Evaporación

Es la pérdida de calor por evaporación de agua. En lo dicho anteriormente sobre la radiación, convección y conducción observamos que mientras la temperatura del cuerpo es mayor que la que tiene el medio vecino, se produce pérdida de calor por estos mecanismos. Pero cuando la temperatura del medio es mayor que la de la superficie corporal, en lugar de perder calor el cuerpo lo gana por radiación, convección y conducción procedente del medio vecino. En tales circunstancias, el único medio por el cual el cuerpo puede perder calor es la evaporación, llegando entonces a perderse más del 20% del calor corporal por este mecanismo. Cuando el agua se evapora de la superficie corporal, se pierden 0,58 calorías por cada gramo de agua evaporada. En condiciones basales de no sudoración, el agua se evapora insensiblemente de la piel y los pulmones con una intensidad de 600 ml al día, provocando una pérdida continua de calor del orden de 12 a 16 calorías por hora. Sin embargo, cuando existe una sudoración

profusa puede llegar a perderse más de un litro de agua cada hora. El grado de humedad del aire influye en la pérdida de calor por sudoración y cuanto mayor sea la humedad del medio ambiente menor cantidad de calor podrá ser eliminada por este mecanismo. El envejecimiento es otro factor contribuyente a la pérdida de calor por evaporación. Con la edad aparece una mayor dificultad para la sudoración.

### III. CÁLCULOS

*Producción de calor = Pérdida de calor*

$$\frac{MB}{S} = \frac{Q_R}{S} - \frac{Q_C}{S}$$

$$40.32 \text{ W/m}^2 = 6(T - T_0) \text{ W/m}^2 - 2.6(T - T_0) \text{ W/m}^2$$

Si tomamos como temperatura ambiente:

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15\text{K}$$

y despejamos la temperatura de equilibrio, obtenemos que:

$$T_{eq} = 310,00\text{K} = 36,86^\circ\text{C}$$

De esta forma queda demostrado que el cuerpo humano es un sistema físico perfecto. Nótese que las aproximaciones para las pérdidas de calor por convección y radiación se hicieron considerando pequeña la diferencia de temperaturas  $(T - T_0)$  respecto de la temperatura ambiente  $T_0$  en Kelvin.

Por último podemos comparar las pérdidas por radiación y convección que sufre el cuerpo humano en invierno y verano, tomando como temperaturas medias ambientales:

$$T_{\text{verano}} = 25^\circ\text{C} = 298,15\text{K}$$

$$T_{\text{invierno}} = 8^\circ\text{C} = 281,15\text{K}$$

$$\frac{Q_{R.\text{verano}}}{Q_{R.\text{invierno}}} = \frac{\varepsilon\sigma(T^4 - T_{\text{verano}}^4)}{\varepsilon\sigma(T^4 - T_{\text{invierno}}^4)} \approx 0,44$$

Es decir, en verano perdemos por radiación menos de la mitad que en invierno. La explicación está en que la pérdida de radiación en el cuerpo es el cómputo global de la radiación que emitimos de nuestro cuerpo a nuestra temperatura corporal menos la radiación que nos llega del entorno a la temperatura ambiental. Como esa diferencia es mayor en invierno que en verano, el resultado no es más que el que hemos estimado.

La comparación para las pérdidas por convección es:

$$\frac{Q_{c.verano}}{Q_{c.invierno}} = \frac{\frac{k \cdot Nu}{L} (T - T_{verano})}{\frac{k \cdot Nu}{L} (T - T_{invierno})} \approx \mathbf{0.014}$$

es decir, del 1.4% menos, aproximadamente, en verano que en invierno. Como podemos comprobar, la diferencia no es tan significativa como en la radiación.

Carlos Rodríguez Fernández  
Ismael Granero Maraña  
Física Cuántica  
Universidad de Extremadura