

La termodinámica en el cuerpo humano desde un enfoque físico

M.A. Lemus-Solorio^a, A. Lemus-Solorio^b, B. A. Zárate-Verduzco^b, O. A. Farías-Valle^b

^a Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Morelia, Michoacán, México

^b Facultad de Ingeniería Química, (UMSNH). Morelia, Michoacán, México

ABSTRACT

This paper analyzes the fundamental concepts of thermodynamics and their relation to natural processes in the human body. The self-regulating mechanisms of the human body are approached from an anatomical perspective and have been extensively studied for medical and biological purposes. However, they can also be approached from an engineering perspective, enabling their understanding and analysis from an alternative perspective, thereby opening up possibilities in this field of research. Therefore, an engineering perspective on the thermodynamic functioning of the human body is presented, showing that it resembles that of a reversible thermal machine.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Recibido 26 Mayo, 2025
Revisado 29 Octubre, 2025
Aceptado 30 Diciembre, 2025

KEYWORDS



Thermodynamics; human body; Thermodynamic Laws, Engineering.

Introducción

Entendiendo que la palabra termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), que hacen alusión de los primeros esfuerzos por convertir calor en energía (*Figura 1*). Actualmente, el concepto se utiliza para incluir los aspectos de la energía y sus transformaciones [1]. Uno de los conceptos más importantes en el estudio de la termodinámica es la energía. La energía se ha relacionado con la idea de una capacidad para transformar o poner en movimiento, sin embargo, su definición clásica lo dicta como la capacidad de realizar un trabajo. Es importante mencionar que la energía puede almacenarse en un sistema y transferirse (como calor, por ejemplo) de un sistema a otro [2]. Cuando se considera desde el punto de vista molecular, se identifican tres formas generales de energía:

1.1 Energía potencial intermolecular, asociada a las fuerzas entre las moléculas.

Durante una interacción, la energía puede cambiar de una a otra forma, no obstante, su total permanece constante. Es decir, la energía no se crea ni se destruye [1]. Desde la perspectiva termodinámica, el calor no se concibe como una forma de energía almacenada en un cuerpo. Al igual que el trabajo, el calor representa la transferencia de energía entre sistemas o entre un sistema y su entorno. Cuando se aporta energía en forma de calor a un cuerpo, esta no permanece como calor, sino que se transforma en energía cinética y potencial de las partículas constituyentes del material [3].

AUTOR DE CORRESPONDENCIA Bryan Zárate  1629251c@umich.mx  Facultad de Ingeniería Química, (UMSNH). Morelia, Michoacán, México. Se puede acceder a los datos complementarios en línea en <https://doi.org/10.71103/4snrbr58>

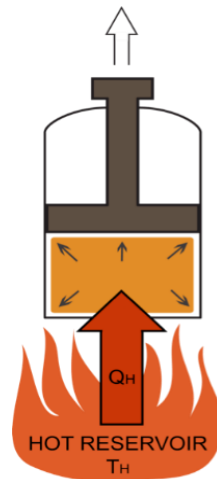


Figura 1. Conversión de calor a trabajo, es decir, el calor como fuerza impulsora. Sistema basado en el Principio de Carnot. Tomado de: <https://www.shmoop.com/study-guides/physics/thermodynamics/carnot-cycle>.

Un claro ejemplo y detalle a considerar en cualquier sistema que se estudie termodinámicamente, es delimitar que características puede presentar, por ejemplo, si es un sistema abierto que lo podemos definir como nuestro cuerpo como sistema termodinámico interactuando con el medio (materia y energía) sin intervención de aislantes, por otro lado, un sistema cerrado únicamente tendría la intervención de energía y no de masa (Figura 2).

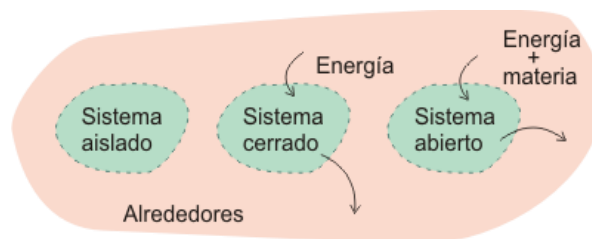


Figura 2. Representación esquemática de los tipos de sistemas termodinámicos. *Martín B. & Serrano F., (2014).*

1.2 Energía cinética molecular, asociada a la velocidad translacional de las moléculas individuales.

1.3 Energía intermolecular, asociada con la estructura molecular y atómica y con las fuerzas relacionadas con ella [2]. "Una de las más importantes y fundamentales leyes de la naturaleza es el principio de conservación de la energía" [1]. Un concepto fundamental que vale la pena recordar es el de la caloría, tan utilizado en nutrición. Este mismo se definió como la cantidad de calor que, al transferírsela a un gramo de agua, aumenta su temperatura en un grado Celsius [3].

De acuerdo con [4], el organismo humano posee una capacidad destacada para mantener su temperatura interna entre 98 °F y 100 °F, incluso en condiciones ambientales que oscilan entre 68 °F y 130 °F. Estos valores corresponden a mediciones realizadas bajo parámetros específicos, como un cuerpo sin vestimenta y con exposición al aire sin humedad. Los procesos de intercambio térmico con el entorno se clasifican en cuatro categorías: radiación, conducción, convección y evaporación del sudor. No obstante, la termorregulación corporal no se limita a un mero funcionamiento automático de estas vías de disipación de energía. Las investigaciones destacan que el organismo ejerce un control dinámico sobre estos fenómenos físicos para mantener la homeostasis térmica [5]. La importancia de la termorregulación en el cuerpo está relacionada con la estabilidad de los procesos cardiovasculares, respiratorios, renales, endocrinos, nerviosos, y el funcionamiento de los músculos [6-8].

Profundizando en lo mencionado previamente, la radiación térmica corresponde a la pérdida de calor mediante la emisión de rayos infrarrojos, los cuales constituyen un tipo de onda electromagnética. Este fenómeno implica un intercambio de energía en forma de radiación electromagnética entre el organismo y su entorno, incluidos objetos distantes de menor temperatura. La conducción en palabras de [9] se da cuando se presenta un gradiente de temperatura en un material, la evidencia experimental indica que se genera un flujo energético desde zonas de mayor concentración térmica hacia áreas con menor temperatura.

Este fenómeno se denomina conducción térmica, donde el calor fluye a través de un material debido a una diferencia de temperatura. La física establece que la magnitud de este flujo calorífico por unidad de superficie guarda una relación directa con la intensidad del gradiente térmico perpendicular. Por otro lado, la convección corresponde al proceso mediante el cual un cuerpo transfiere energía térmica a partículas de fluidos circundantes (como aire o agua) que establecen contacto directo con su superficie. Estas partículas absorben energía térmica al establecer contacto con la superficie del cuerpo y, al desplazarse, son sustituidas por nuevas partículas a menor temperatura, las cuales repiten el proceso al entrar en contacto con la piel, iniciando un ciclo continuo de intercambio (Figura 3).

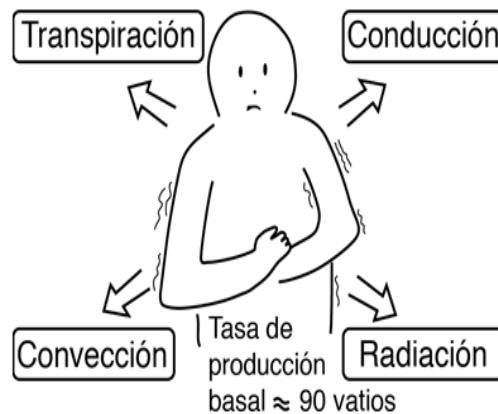


Figura 3. El cuerpo humano puede presentar los tres mecanismos de transferencia de calor para la regulación de su temperatura. El fenómeno principal para la autorregulación de temperatura es la transpiración, misma que se da a consecuencia de dichos mecanismos Olmo y Nave (2009).

Por otro lado, la eficacia de la evaporación del sudor está directamente condicionada por la humedad ambiental: a mayor concentración de vapor de agua en el aire, menor será la eficacia del proceso para disipar energía térmica mediante este mecanismo [10]. El organismo humano posee una habilidad destacada para mantener su temperatura interna dentro del rango de 98°F a 100°F, incluso cuando la temperatura externa oscila entre 68°F y 130°F. Estos valores corresponden a mediciones realizadas bajo condiciones específicas: un cuerpo sin vestimenta y un ambiente sin humedad [4]. Es decir, es como si dentro de nuestro cuerpo el sistema nervioso actuará como una gran red neuronal de la inteligencia artificial, con capacidad de toma de decisiones más allá de básico e imaginable, como si nuestro cuerpo tuviera un termopar como el utilizado en industrias para regular temperaturas de los monumentales equipos de un proceso químico. El principal órgano en que se manifiesta el impulso de la termorregulación refleja son los vasos sanguíneos de la piel. Estos órganos son controlados por neuronas ostroganglionares simpáticas que cosecretan noradrenalina y neuropéptido Y así como por neuronas postganglionares simpáticas [11].

El concepto de homeostasis [13], acuñado a mediados del siglo XX por el fisiólogo Walter Cannon, describe el equilibrio dinámico del medio interno, que se mantiene dentro de márgenes estrechos para garantizar los procesos químicos esenciales en los seres vivos mediante mecanismos de regulación automática. De acuerdo con la aportación de [12], "el ser humano tiene varias funciones que se autorregulan para mantener la homeostasis, por ejemplo: niveles de temperatura, azúcar, agua corporal, dióxido de carbono, frecuencia

cardíaca, actividad corporal, entre otros". No es descabellado el enunciar la presencia de un sistema de control, uno que detecte, informe a nuestro organismo y actúe para la regulación de la temperatura corporal y sus componentes son:

1. Sensor o receptor: Su trabajo consiste en tomar medidas para comprobar que el sistema funcione correctamente, al detectar un estímulo, envía señales al centro integrador.
2. Centro coordinador o integrador: recibe la información enviada por el receptor y la compara con el parámetro establecido, si encuentra que este sobrepasa los límites establecidos, envía señales para restablecer el orden.
3. Efecto: aquí llega, finalmente, la decisión tomada por el centro coordinador; se emite la respuesta que permite modificar la actividad del organismo hasta que retorne a la normalidad o al equilibrio [14].

Conclusiones

El cuerpo humano es, sin duda, un modelo físico y de ingeniería digno de replicar en sus bastantes funciones y en la aplicación de principios a los diferentes procesos biológicos, como en este caso, la propia regulación de una variable física (la temperatura), pues se adapta fácilmente a su entorno, aprovechando los mecanismos físicos y químicos para su supervivencia. La forma en que sus sistemas circulatorio, nervioso, vascular, respiratorio están interconectados y obedeciendo las señales e información que proporcionan es sin duda la explicación del por qué diversas áreas del conocimiento toman como fundamento al cuerpo humano para el desarrollo de tecnologías de punta que sin duda revolucionaran la existencia humana, la pregunta sería ¿Podrá la mano del hombre asemejar u obra al cuerpo humano en calidad y eficiencia?.

Declaración de conflicto de interés

Los autores no informaron ningún posible conflicto de intereses relacionado a esta publicación

Referencias

- [1] Cengel Y.A., Boles M.A. Termodinámica. 7a ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.; 2011.
- [2] Van Wylen G., Sonntag R., Borgnakke C. Fundamentos de Termodinámica. 2da ed. México: Limusa Wiley; 1999.
- [3] Smith J.M., Van Ness H.C., Abbott M.M. Introducción a la termodinámica en ingeniería química. 5a ed. (E.G. Urbina Medal, M. del C. Hidalgo Mondragón, Trads.). México: McGraw-Hill Interamericana; 1997.
- [4] Guyton A. Basic Human Physiology: Normal Function and Mechanisms of Disease. Filadelfia: W.B. Saunders Company; 1971.
- [5] Olmo M., Nave R. Regulación de la temperatura del cuerpo humano [Internet]. 2009 [consultado el 24 de junio de 2024]. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/heatreg.html>
- [6] Picón-Jaimes Y., Orozco-Chinome J., Molina-Franky J., Franky-Rojas M. Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia. Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud. 2020;23(1):118-130. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/04/1087985/3714.pdf>
- [7] Cheshire W. Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical [Internet]. 2016 [consultado el 24 de junio de 2024];196:91-104. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1566070216300017>
- [8] Nakamura K. Central circuitries for body temperature regulation and fever. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology [Internet]. 2011 [consultado el 24 de junio de 2024];301(5):R1207-R1228. Disponible en: <http://ajpregu.physiology.org/cgi/doi/10.1152/ajpregu.00109.2011>
- [9] Holman J. Transferencia de calor. 8a ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 1998.
- [10] Servicio Técnico de Asistencia Preventiva. Efectos del trabajo en ambientes calurosos. Valladolid: UGT Castilla y León; 2020.

- [11] Simmons G., Wong B., Holowatz L., Kenney W. Changes in the control of skin blood flow with exercise training: where do cutaneous vascular adaptations fit in? *Experimental Physiology*. 2011;96(9):822-828. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.056176>
- [12] Fundación Universitaria del Área Andina. Taller Homeostasis-equilibrio ácido base [Internet]. 2020 [consultado el 24 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-los-llanos/biologia/taller-homeostasis-equilibrio-acido-base/7783069>
- [13] Aréchiga H. Homeostasis. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2000.
- [14] Duarte-Cardona I.K.A. Termorregulación en el cuerpo humano. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional; 2016.