

4 Glosario

El Juego de los Conceptos

(2001)

(Un glosario sobre termodinámica y bioenergética)

El Juego de los Conceptos, fue elaborado por Eduardo Césarman y Bruno Estañol con la idea de describir la termodinámica y la bioenergética. Los autores consideraron que “*que podría resultar de utilidad ofrecer algunos conceptos básicos de estas disciplinas de una manera casi aforística...*”

El Juego de los Conceptos, fue publicada originalmente en el idioma inglés con el título de *Basic Elements of Thermodynamics and Bioenergetics* y se presentó como un sobretiro de la revista **LUDUS VITALIS**, Revista de Filosofía de las Ciencias de la Vida, (Vol. IX, num. 15, 2001, pp. 221-227). Se traduce y difunde por nuestra universidad, con la autorización expresa del Dr. Eduardo Césarman y los editores de dicha revista, a quienes agradecemos su gentileza.

Cabe señalar que los conceptos que integran este glosario *especializado* se tomaron básicamente de la obra de Eduardo Césarman listada a continuación.

Hombre y Entropía, Ediciones Gernika, 3ª. Ed., México 1992.

Orden y Caos, Ediciones Gernika, 2ª. Ed., México, 1986.

Thermodynamics of the Heart, Collected Papers 1977-1996, Robles Hermanos. México, 1996.

Elementos básicos de termodinámica y bioenergéticos

- 1.- La termodinámica es la rama de la física que describe los intercambios de energía entre sistemas y entre éstos y el medio ambiente.
- 2.- La termodinámica estudia las transformaciones de calor en trabajo mecánico y viceversa.
- 3.- En física, *energía* implica la capacidad o la posibilidad de realizar trabajo en la naturaleza.
- 4.- Hay una equivalencia entre trabajo mecánico y calor.
- 5.- Todas las formas de energía en la naturaleza tienden a transformarse en calor y el calor tiende a distribuirse, a su vez, en forma aleatoria y uniforme.
- 6.- En cuanto a su estado de movimiento, hay dos formas de energía: *energía potencial* y *energía cinética*.

7.- La termodinámica estudia las propiedades macroscópicas de la materia, tales como la presión, el volumen, la temperatura, masa, energía y entropía. Ellas están íntimamente relacionadas al la disposición microscópica molecular, que está gobernada estadísticamente.

8.- El trabajo solo puede ocurrir cuando hay orden en la distribución de las moléculas en un sistema.

9.- Hay un gradiente de energía potencial, del orden al caos, que es capaz de producir trabajo.

10.- Trabajo siempre implica transformación, dentro de un sistema, de orden en caos.

11.- La primera ley de la termodinámica establece que la cantidad total de energía en el universo permanece siempre igual.

12.- De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, las diferentes formas de energía pueden transformarse, cambiar de una a otra.

13.- La experiencia nos muestra que hay muchos fenómenos en la naturaleza que involucran transformaciones de energía que no ocurren, a pesar del hecho de que ellas no violan la primera ley de la termodinámica.

14.- La transformación de energía calórica en otras formas de energía y en trabajo es teóricamente posible, de acuerdo con la primera ley de la termodinámica; pero es altamente improbable que esto ocurra espontáneamente en la naturaleza.

15.- La primera ley de la termodinámica no menciona la dirección de los procesos en la naturaleza.

16.- La segunda ley de la termodinámica constituye en realidad una excepción o una limitación, a la primera ley de la termodinámica.

17.- La segunda ley de la termodinámica establece la dirección o el sentido en el que ocurren las transformaciones de energía en la naturaleza.

18.- Algunas definiciones de la segunda ley de la termodinámica: “Es imposible para una máquina auto-actuante, sin la ayuda de un agente externo, llevar calor de un cuerpo a otro con mayor temperatura” (Clausius); “Es imposible extraer calor de un sistema y convertir totalmente éste en trabajo, sin causar algún otro cambio en el universo” (Lord Kelvin); “No existe proceso alguno cuyo único resultado sea la absorción de calor de un reservorio y convertirlo en trabajo” (Max Planck).

19.- La segunda ley de la termodinámica limita el tipo de transformaciones de energía que ocurren durante procesos físicos y químicos. También predice, estadísticamente, en que dirección y sentido es más probable que una transformación energética ocurra; establece la posible reversibilidad de una reacción e introduce el concepto de entropía.

20.- Una forma simple para expresar la segunda ley de la termodinámica podría ser: “El calor tiende a fluir de una temperatura alta a una baja, mas ésta es una obviedad estadística”.

21.- El concepto de entropía se explica por la segunda ley de la termodinámica.

22.- En Griego, *entropía* significa transformación.

23.- Entropía es esa “transformación” que siempre acompaña los cambios de energía térmica en energía mecánica.

24.- La entropía de un sistema es la medida de su grado de orden o de desorden.

25.- Entropía es la medida del desorden molecular y está relacionada con el concepto de probabilidad.

26.- La entropía mide la pérdida de aquellas características que distinguen un sistema de sus alrededores. Menos entropía significa más diferenciación de un sistema en su entorno.

27.- La experiencia muestra que los fenómenos naturales ocurren sólo en un sentido: son unidireccionales. De tal manera eso tiende a incrementar la entropía.

28.- En procesos irreversibles la entropía se incrementa; en procesos reversibles la entropía permanece sin cambios.

29.- Entropía es también una variable cuyo cambio de valor para dos momentos diferentes de un sistema nos dice si un proceso puede o no ocurrir.

30.- Los conceptos de entropía, probabilidad y aleatoriedad, así, son inseparables.

31.- Máxima entropía ocurre en el máximo equilibrio termodinámico.

32.- El máximo equilibrio de la energía, o la máxima entropía, ocurre cuando la energía alcanza su máxima distribución y mayor degradación.

33.- Cuando la entropía se incrementa, los procesos tienden a ser irreversibles.

34.- Entropía es el grado de desorden, el equilibrio máximo en el cuál no puede haber cambio físico o químico ya y no puede realizarse trabajo alguno. Es donde la presión, la temperatura y la concentración son uniformes en todo el sistema.

35.- En un sistema cerrado (como el universo), la entropía (energía inútil y aleatoria) tiende a incrementarse. En tal sistema cerrado los procesos sólo pueden ser unidireccionales (en un solo sentido) e irreversibles.

36.- Todos los sistemas tienen una cantidad finita de energía total. Esta energía total es almacenada como energía libre, y como una energía “inútil” de entropía.

37.- La energía total, energía libre y entropía son tan importantes como volumen, temperatura, presión y masa, para entender un fenómeno físico o químico.

38.- La *energía libre* es la energía útil.

39.- La cantidad de energía libre dentro de un sistema es capaz de “impulsar” una reacción física o química.

40.- La cantidad de energía libre siempre disminuye en cualquier proceso que tiende al equilibrio.

41.- Cuando un sistema realiza trabajo, su energía interna (temperatura) disminuye. La energía interna ha sido transformada en trabajo.

42.- Cuando un sistema pierde calor, también disminuye su energía interna.

43.- Cuando un sistema alcanza la entropía máxima, la energía libre está en su mínimo y es incapaz de alguna transformación futura.

44.- La medida de los cambios en energía libre dentro de un sistema constituye una medida indirecta de sus cambios de entropía.

45.- Hay dos diferentes tipos de energía libre interna: uno es la energía libre de Helmholtz la cual tiende a disminuir a expensas de un incremento en la entropía, cuando un sistema cambia de un estado a otro por medio de una variación en la temperatura a un volumen constante. La otra es la energía libre de Gibbs, en la cual ocurre lo mismo, pero bajo presión constante.

46.- Los procesos bioenergéticos en organismos vivos pueden ser entendidos mejor por medio de la energía libre de Gibbs.

47.- Hermann Nernst propuso un teorema de calor que establece que la entropía de todos los sistemas tiende a cero cuando la temperatura absoluta se aproxima a cero. A temperatura absoluta cero la entropía de un sistema sería cero. Esto es conocido como la tercera ley de la termodinámica.

48.- La transformación de las diversas formas de energía en calor es una tendencia simple y natural que ocurre con gran rendimiento calórico.

49.- La transformación de calor en trabajo requiere sistemas complejos tales como máquinas de hechura humana, que utilizan el incremento en volumen producido por sólidos, líquidos o gases calentados.

50.- Muchas máquinas hechas por el ser humano usan energía (calor) liberada de la oxidación (quemando o combustión) de combustibles, para realizar trabajo por presión-volumen a través de la expansión de un gas.

51.- Las reacciones químicas ocurren en la dirección de los estados más estables. Teóricamente ellos también podrían ser reversibles.

52.- Las reacciones son exoenergéticas (exotérmicas) cuando hay un decremento en la energía libre, y son endoenergéticas (endotérmicas) cuando hay un incremento en la energía libre.

53.- Los procesos químicos pueden ser reversibles solo cuando la energía libre es agregada a ellos de una fuente externa.

54.- Los organismos vivos son sistemas biológicos abiertos, capaces de intercambiar energía fácilmente con el medio ambiente. De este modo, ellos pueden incorporar energía libre (nutrirse) de su entorno, y eliminar la entropía o su energía inútil (calor) a sus alrededores.

55.- En los sistemas biológicos los fenómenos ocurren bajo los límites estrictos de presión, volumen y temperatura constantes.

56.- Los sistemas biológicos transforman energía química en energía mecánica bajo condiciones isotérmicas. Las máquinas hechas por el ser humano no pueden hacer eso.

57.- Los sistemas abiertos pueden excepcionalmente aparecer como procesos reversibles. Tal es el caso de los sistemas vivos.

58.- Los sistemas vivos adquieren cierto grado de diferenciación e información debido a la energía libre y útil que ellos obtienen de otros sistemas (nutrición).

59.- Los sistemas biológicos usan energía de combustibles metabólicos quemados durante el proceso de la respiración.

60.- La vida es la capacidad de ciertos sistemas abiertos (organismos vivientes) para liberarse de entropía y almacenar una cantidad suficiente de energía química libre capaz de realizar trabajo biológico.

61.- Es más probable estar muerto que estar vivo.

62.- Informar significa dar forma, proporcionar la estructura. A través de la información el orden de un sistema aumenta. Así, no es sorprendente que el proceso de la información haya sido identificado con la termodinámica a través de la entropía.

63.- Claude E. Shannon aplicó a su Teoría de la Información, el concepto termodinámico de entropía, como lo definió Boltzmann en su mecánica estadística.

64.- La relación entre la entropía descrita por Shannon para la Teoría de la Información y la entropía descrita por Boltzmann para su mecánica estadística es mucho más que una simple formalidad matemática.

65.- La información de los sistemas se relaciona directamente con lo ordenado de su estructura, como un resultado de cuál tipo de información requiere la degradación de energía libre. O sea “uno no puede obtener algo a cambio de nada”.

66.- Los organismos vivientes son sistemas muy improbables y en desequilibrio, cuya integración y ordenamiento requiere el gasto de trabajo y la existencia de información almacenada en los planos (o mapas) genéticos. El cambio en el sentido de menos entropía es conocido como un cambio neguentrópico (o de entropía negativa).

67.- Boltzmann estableció que la entropía de un sistema se incrementa cuando su estructura molecular adquiere su arreglo más probable. La definición estadística de entropía tiene mayor validez, obviamente cuando se considera un número grande de especímenes del sistema.

68.- Cuando una roca se desprende de una montaña, la entropía del sistema montaña-roca se incrementa porque se torna un sistema más probable: la energía potencial libre es transformada en energía cinética.

69.- Desde un punto de vista termodinámico, el equilibrio puede ser definido como un estado altamente aleatorio en el cual no ocurre un cambio neto físico o químico y no hay capacidad para realizar trabajo.

70.- Si consideramos la entropía desde un punto de vista probabilístico, podemos decir que la entropía de un sistema aumenta con el incremento del equilibrio y del desorden. Durante el trayecto descendente hacia el equilibrio, las formas menos entrópicas de energía, o las que tienen mayor capacidad para producir trabajo, están siendo transformadas en las formas más entrópicas.

71.- La termodinámica simplifica el entendimiento de los fenómenos físicos complejos porque ésta trata con las características del mundo físico que son las propiedades gruesas de la materia, que son obvias para alguno o todos nuestros cinco sentidos y que son medibles con un simple aparato. Tales propiedades son la temperatura, la presión, el volumen y la composición. Incluso el concepto mismo de entropía, a pesar de su carácter abstracto, fue deducido originalmente de las propiedades más gruesas de la materia.

72.- La termodinámica trata básicamente con las propiedades *macroscópicas* de la materia, no tiene que tratar necesariamente con la composición atómica de la materia, es decir, con sus propiedades microscópicas. El comportamiento microscópico de los sistemas fue incorporado a la termodinámica a través de la mecánica estadística en una fecha posterior.

73.- Los sistemas biológicos transforman energía química directamente en trabajo en forma mucho más eficiente que cualquier máquina térmica diseñada por seres humanos. Este tipo de conversión energía-trabajo es conocido como mecano-químico, y es la única conversión de energía utilizada por todos los seres vivientes para producir trabajo biológico, incluyendo trabajo mecánico, que proviene de la energía química de la comida. En cambio, las criaturas no vivas trabajan de modo parecido a una máquina de vapor, a un motor eléctrico o a un submarino con energía nuclear.

74.- Todos los sistemas que producen trabajo mecánico lo hacen degradando el orden, por medio del consumo de todas las formas de energía disponibles en la naturaleza, ya sea gravitacional, nuclear, electromagnética o química. Esto es cierto tanto para las máquinas que hacemos los humanos, como para las otras *máquinas* que son todos los sistemas vivientes que existen. La única diferencia es que los organismos vivos producen trabajo de una manera mucho más

eficiente, por medio de una menor destrucción de la estructura del orden preexistente en el Universo, y con menor producción de caos en su entorno.

75.-Las células vivientes existen como sistemas abiertos que deben ajustarse a las leyes del equilibrio o la irreversibilidad de la termodinámica. Ellas requieren un insumo de energía constante derivada, en última instancia, de la energía radiante del sol; además producen y utilizan energía a una temperatura relativamente fija (isotérmica). El calor del metabolismo y la contracción ya no pueden ser convertidas en trabajo.

76.- Los organismos vivientes son sistemas auto-organizables. Las máquinas no pueden auto-organizarse.

77.- Los organismos vivientes pueden auto-replicarse. Las máquinas no pueden auto-replicarse.

78.- Los organismos vivientes son sistemas auto-reparables. Ocasionalmente las máquinas con sistemas de información pueden auto-repararse.

79.- Los organismos vivientes no son sistemas en equilibrio dentro de su medio ambiente. Las máquinas siempre tienden a un equilibrio termodinámico dentro de su medio ambiente.

80.- Los sistemas vivientes siempre tienen una temperatura interna estable. Ellos son *isotérmicos* mientras realizan trabajo. Las máquinas incrementan su temperatura trabajando.

81.- Los sistemas vivientes son muy eficientes en el uso de energía. Las máquinas no son tan eficientes en el uso de energía.

82.- Los sistemas vivientes crecen e incrementan su complejidad conforme transcurre el tiempo.

Las máquinas no crecen ni incrementan su complejidad.

83.- Los sistemas vivientes usan energía química para realizar trabajo mecánico. Para realizar trabajo, las máquinas utilizan diferentes tipos de energía en función de su diseño.

84.- Los sistemas vivientes liberan calor en su medio ambiente y las máquinas producen mucho más calor que los sistemas vivientes. Esto significa que la producción de entropía es mayor en las máquinas que en los sistemas vivientes.

85.- Los sistemas vivientes ‘construyen’ la información y la incrementan en relación con su entorno. Las máquinas nunca producen nueva información.

86.- Los sistemas vivientes producen nueva información cuando ellos resuelven problemas. Bajo las mismas circunstancias, las máquinas nunca producen nueva información.

87.- Los sistemas vivientes conocen como encontrar y seleccionar su nutrición. A las máquinas, incluyendo las computadoras, se requiere suministrarles el combustible para el cual fueron diseñadas, que podría ser electricidad, gas o carbón.

88.- Los sistemas vivientes son complejos y adaptativos.

89.- La información en los sistemas vivientes está en el ADN, consecuentemente ellos son auto-organizados.

90.- Los sistemas vivientes son auto-organizados, tienen una interacción permanente dentro de los componentes mismos de la célula entera y su medio ambiente.

91.- Los organismos vivientes siguen un ciclo abierto y cerrado, de acumulación y descarga, de acopio de energía libre y de liberación de energía desechada.

92.- Los sistemas vivientes pueden almacenar energía (ATP); la información también la almacenan en el cerebro (información histórica) y también puede almacenarse en otras partes del organismo.

93.- La cantidad de energía libre almacenada es siempre mayor que la cantidad de energía necesaria para la nutrición.

94.- Desde el punto de vista termodinámico, los sistemas vivos utilizan su propia energía e información para sobrevivir como individuos.

95.- Los sistemas vivientes usan su propia información almacenada en el ADN para sobrevivir como especie.