

Guía N° 4 **Entropía**

La primera ley de la termodinámica afirma que la energía no se puede crear ni destruir. La segunda ley añade que en toda transformación de energía una porción de la misma se degrada y se convierte en “energía de desecho”. La “energía de desecho” no está disponible y se pierde. Otra forma de decir esto es que la energía organizada (energía concentrada y por tanto utilizable) se degrada a energía desorganizada (energía no utilizable). La energía de la gasolina es energía organizada y utilizable. Cuando se quema gasolina en el motor de un automóvil, una parte de la energía realiza trabajo útil, para mover los pistones, otra porción calienta el motor y el entorno, y la parte restante sale por el tubo de escape. La energía útil se degrada a formas no útiles y no está disponible para realizar de nuevo el mismo trabajo, como impulsar otro automóvil.

La energía organizada en forma de electricidad que alimenta los sistemas de iluminación eléctrica en nuestros hogares y edificios de oficinas se degrada a energía calorífica. Esta energía es una importante fuente de calor en muchos edificios de oficinas en las regiones de clima templado, como la pirámide de la compañía Transamerica en San Francisco (EEUU). Toda la energía eléctrica de las lámparas, aun la parte que existe brevemente en forma de luz, se transforma en energía calórica, la cual se utiliza para calentar los edificios (así se explica que las luces en esa torre estén encendidas la mayor parte del tiempo). Esta energía está degradada y ya no es útil. La energía calorífica de los edificios no se puede utilizar de nuevo para encender una sola ampolla sin ningún esfuerzo organizador externo.

Vemos, pues, que la calidad de la energía se reduce con cada transformación. La energía organizada tiende a adoptar formas desorganizadas. En este sentido más amplio, podemos enunciar la segunda ley de la termodinámica de otra manera:

Los sistemas naturales tienden a avanzar hacia estados de mayor desorden

Imagina una ordenada corriente de moléculas de gas que se inyecta en un frasco cerrado y vacío. Las moléculas de gas que se mueven todas en armonía están en un estado desordenado, y también poco probable. Muy pronto el estado ordenado de las moléculas se vuelve desordenado. Las moléculas de gas que se mueven en direcciones al azar y con rapidez arbitraria constituyen un estado desordenado, esto es, un estado más aleatorio y más probable. Así pues, el orden tiende al desorden. Si retiramos la tapa del frasco, las moléculas de gas escapan hacia la habitación y adquieren así un mayor grado de desorden.

No esperarías que ocurriese lo contrario; es decir, no esperarías que las moléculas de gas se ordenasen espontáneamente y volvieran al frasco para recuperar un estado más ordenado. Esto se debe que, en comparación con la infinidad de formas en que las moléculas se pueden mover al azar, la probabilidad de que regresen a un estado tan ordenado es prácticamente cero. Simplemente no observamos procesos en los que un estado

desordenado tienda hacia estados más ordenados.

La energía desordenada se puede transformar en energía ordenada sólo a costa de algún esfuerzo de organización o de la realización de trabajo sobre el sistema. Por ejemplo, se puede ordenar aire en un espacio reducido por medio de un compresor. Pero sin algún trabajo externo impuesto el orden no puede aumentar.

En el más amplio de los sentidos, el mensaje que nos transmite la segunda ley de la termodinámica es que el universo, con todo lo que contiene, tiende al desorden.

Entropía

La idea de que la energía ordenada tiende a transformarse en energía desordenada esta contenida en el concepto de **entropía**¹. La entropía es una medida de la cantidad de desorden. Si el desorden aumenta, la entropía aumenta. La segunda ley de la termodinámica establece que en los procesos naturales la entropía aumenta siempre a la larga. Las moléculas de gas que escapan de un frasco pasan de un estado relativamente ordenado a un estado desordenado. Con el tiempo, las estructuras organizadas se convierten con el tiempo en ruinas desorganizadas. Las cosas se echan a perder por sí solas. Siempre que se permite que un sistema físico distribuya libremente su energía, lo hace siempre de tal modo que la entropía aumenta y la energía disponible en el sistema para realizar trabajo disminuye.

En los sistemas físicos la entropía aumenta normalmente. Sin embargo, cuando se suministra trabajo al sistema, como en el caso de los organismos vivos, la entropía disminuye. Todo ser viviente, desde las bacterias y los árboles hasta los seres humanos, extrae energía de su entorno y la utiliza para incrementar su propio grado de organización. Este orden de las formas de vida se conserva aumentando la entropía en algún otro lugar, de tal manera que las formas de vida junto con sus productos de desecho experimentan una reducción neta de entropía. Se debe transformar energía en el sistema viviente para que este se mantenga con vida. De lo contrario, el organismo muere muy pronto y tiende al desorden.

La primera ley de la termodinámica es una ley de la naturaleza de la cual no se han observado excepciones. La segunda ley, sin embargo, es una afirmación de probabilidad. Dado el tiempo suficiente, pueden ocurrir hasta los estados menos probables; la entropía puede disminuir a veces espontáneamente. Por ejemplo, los movimientos aleatorios de las moléculas del aire podrían por un instante hacerse armoniosos en un rincón de la habitación, del mismo modo que si vaciamos en el piso un tonel lleno de monedas, todas ellas podrían caer del mismo lado. Estas situaciones son posibles, pero no probables. La segunda ley nos indica el rumbo más probable que pueden tomar los acontecimientos, no el único posible.

¹ La entropía se puede expresar como una ecuación matemática que dice que el aumento de entropía, ΔS , en un sistema termodinámico ideal es igual a la cantidad de calor suministrado al sistema, ΔQ , dividida entre la temperatura, T , del sistema: $\Delta S = \Delta Q / T$

A veces se enuncian las leyes de la termodinámica de esta manera: *no hay forma de ganar (porque no puedes obtener de un sistema más energía de la que le suministras), no hay manera de empatar (porque ni siquiera puedes obtener tanta energía como inviertes) y no hay manera de salir del juego (porque la entropía del universo siempre aumenta).*

CIENCIA, TECNOLOGÍA y SOCIEDAD

Termodinámica y contaminación térmica

Una moderna planta generadora de electricidad, aunque es grande y compleja, se puede considerar en términos aproximados como una máquina térmica. La planta generadora utiliza el calor proveniente de la combustión de carbón, petróleo o gas, o de la fisión nuclear, para producir energía que realiza trabajo haciendo girar generadores eléctricos. En este proceso se produce también calor residual como una consecuencia inevitable de la segunda ley de la termodinámica. Este calor residual se describe en ocasiones como *contaminación térmica* porque, al igual que los residuos químicos, contamina el ambiente.

El calor residual que se descarga en las vías de agua puede elevar la temperatura del entorno acuático lo suficiente como para matar los organismos y perturbar los ecosistemas. El calor residual que se descarga en el aire puede contribuir a los cambios climáticos. La contaminación térmica es diferente de la contaminación química en cuanto a que esta última se puede reducir por diversos métodos. La única forma de habérselas con la contaminación térmica consiste en dispersar el calor residual en áreas lo bastante grandes para absorberlo sin que su temperatura aumente de manera significativa.

Por más que lo intentemos, la segunda ley de la termodinámica nos dice que es imposible producir energía utilizable sin causar un impacto ambiental. La conservación y la tecnología eficiente tienen una importancia fundamental para la salud de nuestro planeta.

A continuación, responde las siguientes preguntas en tu cuaderno:

1. Menciona al menos dos ejemplos (distintos a los entregados en el texto anterior) que permitan distinguir entre energía organizada y energía desorganizada.
2. Investiga, ¿qué proporción de la energía eléctrica que transforma una ampolleta común (ampolleta incandescente) se transforma en energía calórica?
3. Con respecto a los estados ordenados y desordenados, ¿que tienden a hacer los sistemas naturales? ¿Puede un estado desordenado transformarse en un estado ordenado? Explica tu respuesta.
4. ¿En qué condición puede disminuir la entropía de un sistema? Explica tu respuesta.
5. ¿Qué relación existe entre la segunda ley de la termodinámica y el concepto de entropía?
6. Supón que deseas enfriar la cocina de tu casa y abres la puerta del refrigerador, y cierras las puertas y ventanas de la cocina. ¿Qué le ocurrirá a la temperatura de la cocina? ¿Por qué?
7. El agua que pones en el congelador pasa aun estado de menor desorden molecular cuando se congela. ¿Es esto una excepción del principio de la entropía? Explica tu respuesta.