

DEMO 77

Lanzamiento de monedas: Entropía y probabilidad



Autor de la ficha	Roberto Pedrós
Palabras clave	Segundo principio Termodinámica; entropía; probabilidad
Objetivo	Relacionar el concepto de entropía con la probabilidad
Material	3 monedas; figuras impresas
Tiempo de Montaje	Nulo

Descripción

Hay muchos sucesos que están permitidos por el primer principio de la Termodinámica pero que no observamos que sucedan: el agua derramada no vuelve al vaso; un jarrón roto no se arregla solo; si lanzamos la ropa al aire no va hacia el armario y queda colgada de una percha en el armario. La experiencia nos enseña que ciertos sucesos son irreversibles. La irreversibilidad en este tipo de sucesos está relacionada con el comportamiento probabilístico de los sistemas con muchos elementos.

Realización

Consideremos tres monedas de euro encima de la mesa con las caras hacia arriba. Consideremos que esta estructura está ordenada. Ahora lanzamos las monedas. Las posibles combinaciones se muestran en la tabla adjunta y en la figura 1.

Posibilidades	La probabilidad de que vuelva a caer la combinación cara cara cara es
cara cara cara	$P_{3 \text{ caras}} = \frac{\text{sucesos favorables}}{\text{sucesos posibles}} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8}$ <p>Es decir que sólo hay un 12.5% de posibilidades de que la estructura vuelva a ser ordenada (en la figura adjunta se observan las posibilidades con monedas de euro)</p> <p>Si aumentamos el número de monedas a 10, la probabilidad de que vuelvan a caer todas cara sería</p> $P_{10 \text{ caras}} = \frac{\text{sucesos favorables}}{\text{sucesos posibles}} = \frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024}$
cara cara cruz	
cara cruz cara	
cara cruz cruz	
cruz cara cara	
cruz cara cruz	
cruz cruz cara	
cruz cruz cruz	

Con 10 monedas la probabilidad de volver a obtener 10 caras se reduce a aproximadamente una entre mil (ver figura 2). A medida que el tamaño del sistema aumenta, la probabilidad de volver a obtener la estructura ordenada se reduce drásticamente. Si doblamos el número de monedas, la posibilidad se reduce 1000 veces más, de modo que hay aproximadamente una posibilidad entre un millón de volver a obtener 20 caras (figura 3a y 3b)

$$P_{20 \text{ caras}} = \frac{1}{2^{20}} = \frac{1}{1.048.576}$$

Si tenemos 100 monedas todas en cara encima de la mesa y las lanzamos al aire, la probabilidad de que vuelvan a caer todas en cara es menor que una entre un quintillón

$$P_{100 \text{ caras}} = \frac{\text{sucesos favorables}}{\text{sucesos posibles}} = \frac{1}{2^{100}} = \frac{1}{1,267.650_4 600.228_3 229.401_2 496.703_1 205.376}$$

Para imaginar una probabilidad tan pequeña por el número tan grande de posibilidades, podríamos pensar que el suceso favorable es un grano de arena y los sucesos posibles los granos de arena que cabrían en un desierto que cubriera la toda la superficie de la Tierra con 1521 km de espesor (figura 3).

En definitiva, el número de posibilidades es muy grande y sólo una de ellas corresponde a la estructura ordenada (todo caras). Las otras posibilidades, muchas más, son las situaciones en las que no existe orden. El desorden de un sistema puede expresarse cuantitativamente por medio de una magnitud llama entropía. El segundo Principio de la Termodinámica es una afirmación sobre el tipo de comportamiento probabilístico ilustrado con estos ejemplos, y un posible enunciado sería:

La dirección del cambio espontáneo en un sistema es de una disposición de menos probabilidad a una de mayor probabilidad.

De este modo, la situación de mayor probabilidad será también la de mayor entropía. Los sistemas vivos utilizan la energía que ingieren para, por una parte, mantener su temperatura y realizar trabajo. Otra parte de la energía va dedicada a reducir la entropía (por ejemplo sintetizando moléculas complejas a partir de unidades aleatoriamente dispuestas), es decir, el organismo intenta reducir el desorden, que es un estado con mayor probabilidad. Los seres vivos se mantienen ordenados a costa de aumentar la entropía a su alrededor. Cuando los mecanismos para reducir la entropía fallan, como acaba sucediendo siempre, la estructura ordenada se desmorona y el organismo muere.