

# Una nueva mirada al desorden

## A new view look at disorder

Maldonado Adriana  
apmaldonadoa@uce.edu.ec  
Universidad Central del Ecuador  
Facultad de Ciencias Matemática

Mejía Juan Francisco  
jfmejiam@uce.edu.ec  
Universidad Central del Ecuador  
Facultad de Ciencias Matemática

### Resumen

A principios del siglo XX, se propone la segunda Ley de la termodinámica como una explicación del por qué ciertos fenómenos que deberían respetar el principio de la conservación de energía no lo hacen. Esta ley habla sobre una nueva magnitud llamada Entropía. Con el tiempo se ha interpretado a la entropía de varias maneras, la más conocida es aquella que la define como una medida del desorden, sin embargo, esta idea no es del todo correcta. El presente trabajo pretende explicar el concepto de entropía bajo el enfoque de la física estadística, que define a la entropía como una magnitud relacionada con los microestados posibles de un sistema y cuál de ellos es el más probable (Boltzmann, 1896), utilizando Geogebra, que nos facilitará herramientas interactivas como gráficas y animaciones que harán aún más fácil el entendimiento del concepto en cuestión.

**Palabras clave:** entropía, termodinámica, ciencias, microestados, probabilidad, desorden.

### Abstract

At the beginning of the 20th century, the Second Law of Thermodynamics is proposed as an explanation of why certain phenomena that should respect the principle of conservation of energy do not. This law speaks about a new magnitude called Entropy. Over time, entropy has been interpreted in various ways, the best known being that which defines it as a measure of disorder, however, this idea is not entirely correct. The present work aims to explain the concept of entropy under the statistical physics approach, which defines entropy as a magnitude related to the possible microstates of a system and which of them is the most probable (Boltzmann, 1896), using Geogebra, that will provide us with interactive tools such as graphics and animations that will make it even easier to understand the concept in question.

**Keywords:** entropy, thermodynamics, science, microstates, probability, disorder.

### La termodinámica

La termodinámica (proveniente del griego *thermos*=calor y *dynamos*=fuerza) es una parte de la física y de la química con gran relevancia en muchas áreas de la ciencia y la tecnología pues sus principios han guiado a la humanidad al desarrollo de grandes inventos como la máquina de vapor, los motores de combustión interna, motores térmicos entre otros. Las tres leyes de la termodinámica tienen orígenes

distintos y fueron formuladas a partir de trabajos y postulados publicados con anterioridad, estas leyes describen el comportamiento de tres magnitudes físicas: la temperatura, la energía y la entropía, que caracterizan a los sistemas termodinámicos. En 1824, Nicolás Léonard Sadi Carnot, el padre de la termodinámica publica su obra *“Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego”* marcando así el inicio de la termodinámica como ciencia moderna.

Sadi Carnot planteó por primera vez que no toda la energía calórica disponible para generar un trabajo útil puede ser aprovechada en su totalidad, esto quiere decir que no va a existir ningún proceso que aproveche todo el trabajo generado por la energía térmica porque parte de esa energía se va a disipar de alguna manera. Por ejemplo, los automóviles tienen una eficiencia del 20%, esto quiere decir que de toda la energía que proviene del motor, un 80% se disipa y sólo se aprovecha un 20%. (Ibañez, 2012)

Basándose en este fenómeno, la termodinámica define a la entropía (del griego  $\epsilon\nu\tau\rho\omicron\pi\acute{\alpha}$ =evolución) como la magnitud física que mide que parte de la energía térmica que se disipa y afirma que su valor en un sistema aislado crece en el transcurso del proceso termodinámico. La Real Academia Española (RAE) la describe como la medida del desorden de un sistema (RAE,2021).

Pero ¿Cuál es el problema con esta definición? ¿Acaso la entropía no es la medida del desorden de un sistema? El enfoque que realmente es de nuestro interés en el desarrollo del presente trabajo, es el que nos brinda la física estadística, una rama de la física experimental que emplea conceptos como la termodinámica, la estadística y la combinatoria, está muy ligada al desarrollo de la teoría molecular, la cual nos permite ver a los fenómenos físicos como un sistema de partículas puntuales llamados átomos que interactúan de manera microscópica entre sí. Según la física estadística, la entropía es la magnitud que nos permitan analizar como varía el número de microestados de un sistema al variar el número de partículas que conforman el mismo y el número de microestados compatibles con el macroestado de equilibrio al que llamaremos “orden”, entendiendo como microestado a una configuración específica de las posiciones de las partículas que conforman el sistema que se encuentra en interacción.

### **Modelo experimental**

Se tiene un contenedor con una división removible que separa las dos mitades del mismo, en una de las mitades se tiene encerrado un gas ideal que, al remover la división, se expande por todo el contenedor; los microestados de este sistema son las combinaciones posibles de las posiciones de las partículas del gas distribuidas en todo contenedor. De manera intuitiva es fácil pensar que es más probable que las partículas del gas estén distribuidas de manera uniforme, es decir la mitad de ellas en un extremo, y la mitad en el otro, a esta configuración específica la llamaremos macroestado de equilibrio u orden.

### **Probabilidad y Combinatoria**

La probabilidad es una herramienta que mide la posibilidad de que ocurra un determinado evento. Si tenemos un evento X, la probabilidad de que X ocurra está dada por:

$$p(X) = \frac{\text{Casos favorables}}{\text{Casos posibles}}$$

Ahora, pensando en el modelo de experimentación, nuestra modelación pretende analizar el número de microestados posibles del sistema en función del número de partículas del gas en el contenedor, entonces tenemos dos configuraciones posibles para cada partícula:

- Configuración 1: Estar al lado izquierdo del contenedor.
- Configuración 2: Estar al lado derecho del contenedor.

La cantidad de microestados posibles en las que  $n$  partículas se encuentren en un lado del contenedor con  $m$  partículas está dada por la siguiente fórmula de combinatoria:

$$C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}$$

Por ejemplo, para un sistema con 5 partículas, el número de microestados posibles con 2 partículas a la derecha es:

$$C_5^2 = \frac{5!}{2!(5-2)!} = \frac{5!}{2!3!} = 10$$

De esta manera deducimos que la cantidad de microestados posibles para las partículas en una configuración será el mismo para las partículas en la otra configuración.

Número de partículas en la izquierda del contenedor	Número de partículas en la derecha del contenedor	Microestados posibles
5	0	$C_5^0 = 1$
4	1	$C_5^1 = 5$
3	2	$C_5^2 = 10$
2	3	$C_5^3 = 10$
1	4	$C_5^4 = 5$

**Tabla 1.** *Microestados posibles en un contenedor con 5 partículas*

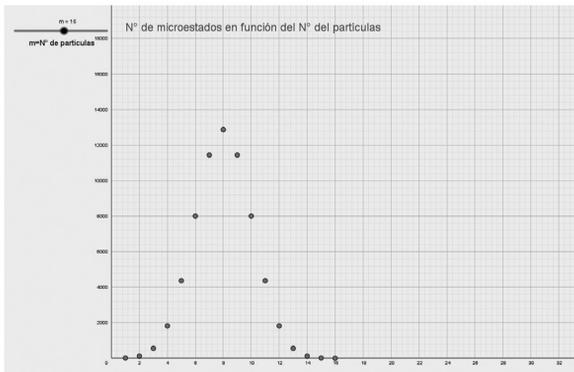
Se observa en la Tabla 1 que para el ejemplo de 5 partículas existen 32 microestados posibles. Ahora, comparemos, ¿Qué microestados son más probables? Vamos a tomar como casos favorables el número de microestados de cada configuración y como casos posibles la suma de todos los microestados, es decir 32. Ahora, busquemos las siguientes probabilidades.

X: Todas las partículas están en el lado derecho del contenedor.

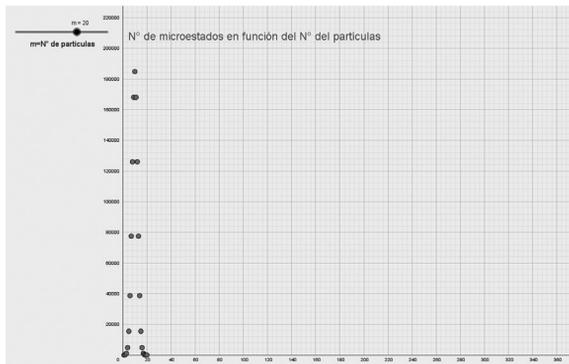
Y: 3 partículas están en el lado derecho del contenedor.

$$p(X) = \frac{1}{32} \approx 0.03125 \quad , \quad p(Y) = \frac{10}{32} \approx 0.3125$$

Encontramos que la probabilidad de que las 5 partículas de gas esté distribuido por todo el contenedor es 10 veces más probable que las mismas partículas se junten espontáneamente en sólo un lado del contenedor. Esto se ilustra en GeoGebra para números de partículas más grandes.



**Figura 1.** *Configuraciones posibles para 16 partículas*



**Figura 2.** *Microestados posibles para 20 partículas.*

En las Ilustraciones 1 y 2, se observa cómo al aumentar el número de partículas aumenta el número de microestados y a su vez la probabilidad de que estén repartidas equitativamente en el contenedor. También se observa que la probabilidad de que todas las partículas estén en un solo lado del contenedor disminuye enormemente. Si lo pensamos para un gas ideal, el número de partículas es el número de Avogadro  $6.022 \times 10^{23}$ . Esto quiere decir que la probabilidad para que este gas ocupe espontáneamente un lado del contenedor es de  $\frac{1}{2^{6.022 \times 10^{23}}}$ , lo cual es un número demasiado pequeño, un número con más de 23 ceros decimales, lo cual lo convierte en una improbabilidad, mas no en una imposibilidad.

### Conclusiones.

Vamos a juntar lo visto anteriormente, ¿Cómo se relacionan las probabilidades de los microestados con el desorden? La respuesta es que no se relacionan para nada, las probabilidades de los microestados de un sistema se relacionan directamente con la entropía y a su vez con la segunda ley de la termodinámica. El concepto fundamental detrás de la entropía no es una fuerza, es simplemente probabilidad y combinatoria.

Ahora podemos definir a la entropía como la magnitud que mide el número de microestados posibles para un mismo macroestado de un sistema, y así la segunda ley de la termodinámica nos dice que un sistema evoluciona a su configuración más probable y coincide con la configuración que tiene mayor entropía. (Boltzmann, 1896)

Finalmente, cuando observamos un vaso romperse, hielo derretirse, un castillo de arena derrumbarse, no es porque exista una fuerza misteriosa de por medio, sólo es el sistema evolucionando y comportándose como sus microestados más probables lo dictan. En este caso, ya no se habla de un desorden o de un caos de partículas, se habla de combinatoria y probabilidades, y la ventaja de esto es que son medibles a diferencia del concepto anterior.

### Referencias

A., K. (1978). *Molecular Physics*. USA: Books Ltf.

Boltzmann, L. (1896). *Gastheorie*. Leipzig.

Española, R. A. (2021). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/entrop%C3%ADa>

Ibañez. (5 de Enero de 2012). *Motor Passion*. Obtenido de Motor Passion: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-motor-de-combustion-es-el-mas-eficiente-hoy-falso#:~:text=Un%20motor%20de%20gasolina%20de,o%20un%20motor%20di%C3%A9sel%20naval>.

K., B. S. (2006). *Concepts in Thermal Physics*. UK: Oxford University Press Inc.