

ENTROPÍA CONFITADA

Juan Ignacio Beiroa

La pregunta

¿Si agito una cajita de confites tipo Sugus Confitados, puedo predecir de qué color va a ser el próximo caramelo? ¿Y cómo quedan ordenados en la caja? ¿Qué tiene que ver con física?



En 1814, Pierre-Simon Laplace se preguntaba algo muy parecido, sólo que la caja de caramelos eran partículas de un sistema físico.

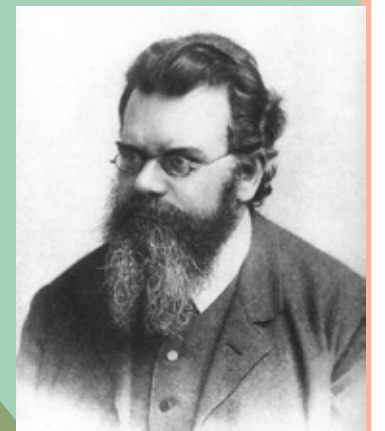
Su pregunta: "¿si sé el estado de cada partícula del sistema en un dado tiempo, puedo predecir estado futuro de cada una (y por lo tanto del sistema entero)?"
Su respuesta de buen mecanicista: "Si, una *inteligencia superior* podría conocer el estado de todas las partículas y utilizar las Leyes de Newton para predecir su estado futuro."

¡Física en el cine!

En la película *The Laplace's Demon*, ocho personas son llevadas a una casa tenebrosa: en ella existe una réplica exacta de la casa, con fichas que se mueven exactamente igual que estas personas... ¿O son las personas las que se mueven como las fichas?

La persona justa en el momento justo

Los 1800 eran tiempos de ebullición y revolución en Europa. Las revoluciones húngaras dentro del Imperio Austro-Húngaro, la publicación del Manifiesto Comunista y profundos cambios sociales y políticos producidos por los avances científico-tecnológicos de la Revolución Industrial (1790--1860).



En ese caldo de cultivo, en el seno de una familia agraciada de Viena, se crió y trabajó Ludwig Boltzmann.

Un cambio en la forma de entender

Boltzmann cambia el eje de la discusión: deja de intentar conocer la posición y momento de cada partícula, y se concentra en cuál será el estado más probable de todo el sistema. Toma, en cambio, la energía del sistema, la cual discretiza y distribuye entre todas las partículas del sistema y postula: "**el estado más probable, es aquel que vemos empíricamente y al que evoluciona el sistema**". Define luego dos conceptos importantísimos para la física moderna:

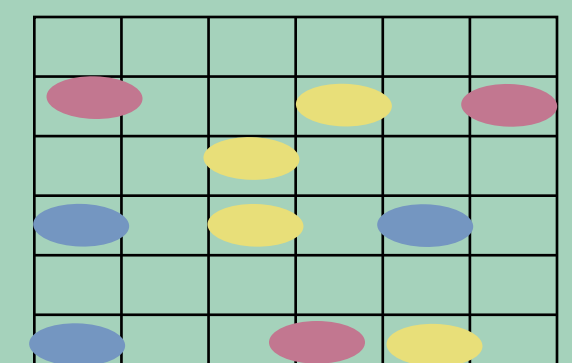
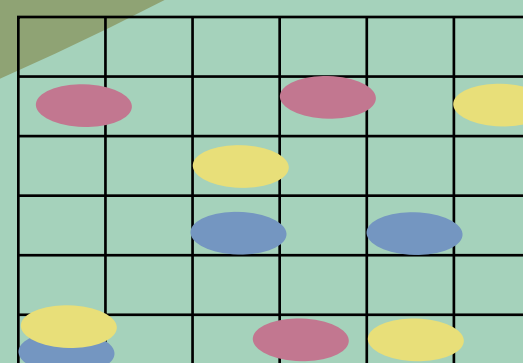
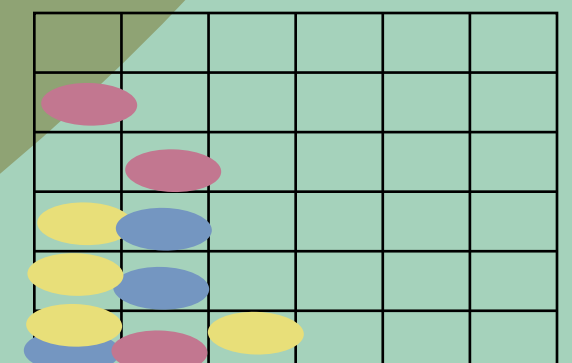
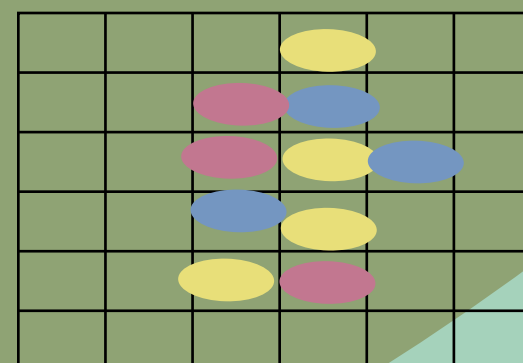
La complejión de un sistema, que hoy llamamos *microestado*, es la configuración microscópica de las partículas del sistema. Por ejemplo, cómo se distribuyen la energía las partículas. Volviendo a la cajita de sugus confitados, sería algo así como de qué forma se ordenan los caramelos adentro de la caja.

La *multiplicidad* es el número de microestados compatibles con un estado macroscópico dado, que llamamos *macroestado*.

Boltzmann encuentra que las configuraciones más probables son aquellas en las que la energía se encuentra más distribuida. Por ejemplo, es poco probable que en un sistema de muchas partículas, la energía se concentre sólo en unas pocas. En términos de sugus confitados, es más probable que los caramelos se distribuyan por toda la caja, y no que se ordenen todos en el medio.

Un ejemplo: cuatro microestados y un mismo macroestado

Cuatro microestados distintos (la distribución de confites en una grilla que representa lugares en la caja), los dos de abajo son más probables. Sin embargo, el macroestado siempre es el mismo: hay 10 confites en total.

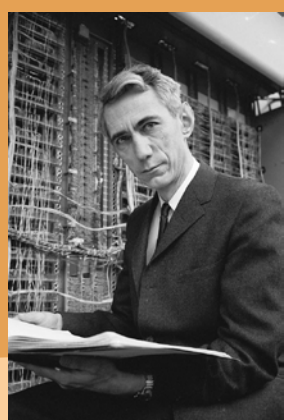


El legado de Boltzmann

Boltzmann identificó a la Entropía con la multiplicidad, y Einstein acuñó su forma moderna:

$$S = k \log W.$$

En esta ecuación, S es la entropía, k la constante de Boltzmann y W la multiplicidad. La simplicidad del modelo de Boltzmann, energías distribuidas entre partículas, permite además definir entropías en otros ámbitos. La más conocida de las "otras entropías" es la Entropía de Shannon usada en Teoría de la Información y que mide la cantidad de Información en un mensaje.



Un mensaje que consista en una serie de números repetidos, como 11111111..., contendrá poca información (ya que es probable que el próximo número sea otro 1); y por consiguiente una entropía de Shannon baja. Ver el próximo número no nos proporciona información alguna. En cambio, una cadena de números aleatorios tendrá una entropía de Shannon máxima, puesto que necesito conocer toda la cadena para saber cuál será el número siguiente a cualquier otro.