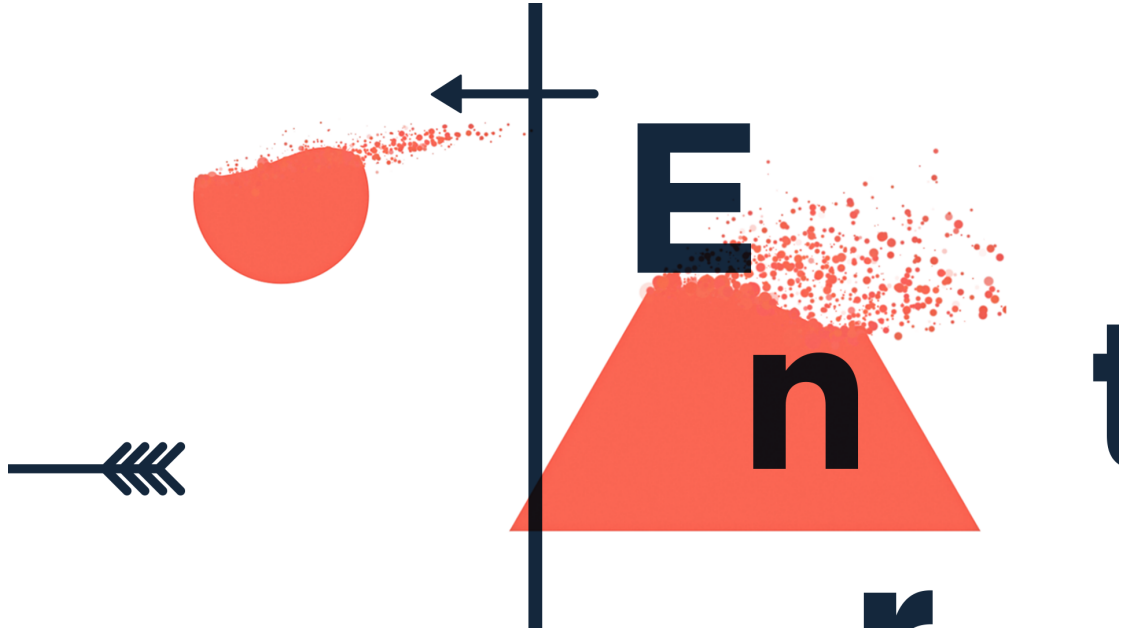




El Gato
y La Caja

Más ciencia y diseño en más
lugares para más personas

elgatoylacaaja.com/desorden-y-progreso



16/07/2018

Desorden y progreso

TXT [JUAMA GARRIDO](#), [ENZO TAGLIAZUCCHI](#)

¿Qué es la entropía? ¿Cuál es el destino (¿final?) del Universo?



Cuando aprendemos a leer y escribir, aprendemos a relacionar una palabra con aquello que representa, lo que significa. Poniéndonos un poco más poéticos, una palabra es como un material que está compuesto por una serie de átomos, que vendrían a ser las letras, los cuales en cierto ordenamiento le dan su significado total y, en efecto, sus propiedades. Pero sabemos que, en algunos casos, podemos

desordenar un poco esos ‘átomos’ sin destruir el significado. La mayoría de nosotros reconoce que ‘Ertnpíao’ en realidad es la palabra ‘Entropía’ escrita sin usar autocorrector por alguien con dedos grandes y torpes (yo, por ejemplo). Pero excluyendo a profesionales del *Scrabble* y juegos afines, ‘Taenirop’ o ‘Rntaíepo’ tienen un grado de desorden tan grande que el significado de la palabra ya no es evidente a simple vista.

Ahora, **¿de cuántas maneras distintas podemos alterar el orden de las letras de la palabra ‘Entropía’ de forma tal que la mayoría de nosotros siga reconociendo el significado de la palabra? Contar esa cantidad de maneras, en combinación con algún malabar matemático, es esencialmente el concepto de entropía.** Al hacerlo estaríamos midiendo la entropía de ‘Entropía’.

¿Confuso? Vamos de nuevo: La definición estándar de entropía surge de preguntar **cuántas combinaciones o configuraciones en un nivel ‘micro’ son posibles dadas las propiedades observadas en un nivel ‘macro’.** En la analogía que hicimos con una palabra, las combinaciones ‘micro’ serían los ordenamientos de las letras y la configuración ‘macro’ su significado. Pero pensemos ahora en un sistema físico real, por ejemplo, en un gas compuesto por un montón de pelotitas rojas (que vendrían a ser las partículas de gas) rebotando dentro de un tacho. La entropía del gas se define contando todas las posibles posiciones y velocidades que pueden adoptar esas pelotitas sin que nosotros, seres torpes macroscópicos, notemos una diferencia en las propiedades del gas, como su color, temperatura, presión, volumen, etc. Es decir, todo lo que podemos medir en el laboratorio sin necesidad de acceder al nivel ‘micro’ —sin necesidad de saber qué hacen, dónde y cuándo cada una de las pelotitas rojas—.

Spoiler Alert de angustia existencial

¿Por qué los físicos inventarían un concepto que relacione todas las posibles configuraciones en una escala muy chiquita con las propiedades que podemos ver, tocar, oler o, en general, medir? Acá es cuándo ocurre la magia. La respuesta encierra algunas de las certezas más deprimentes acerca de **cómo todo concluye al**

fin (y no hablamos de un noviazgo, ‘soltar’ y todas esas cuestiones cotidianas, sino del Universo mismo).

Imaginemos ahora un tacho con una compuerta que separa dos compartimientos. Uno contiene un gas compuesto por pelotitas rojas y el otro un gas compuesto por pelotitas azules. De repente abrimos la compuerta y permitimos que los dos gases se mezclen. El resultado es un gas de pelotitas rojas y azules que para nosotros se ve, claro, de color violeta (para los incrédulos, vístanse con una camisa azul y un patrón de puntitos rojos; a poca distancia y al final del día pregunten a todo el mundo de qué color era la camisa que llevaron).

La pregunta importante es ¿cómo cambió la entropía de todo el tacho cuando abrimos la compuerta y dejamos que las partículas de los dos gases se mezclen?



Al principio, antes de abrir la compuerta, todas las pelotitas podían moverse y rebotar por el recipiente de una cantidad enorme de maneras, pero siempre con una restricción importante: todas las azules tenían que estar de un lado y todas las rojas del otro. Pero después de abrir la compuerta entre los dos compartimientos nos quedamos con la mezcla violeta y esa restricción ya no existe más. Las

partículas ahora tienen permitidas más configuraciones que cuando estaban separadas (por ejemplo, una configuración en la que hay una pelotita azul del lado en que antes sólo podía haber pelotitas rojas). Y como la entropía se mide justamente contando la cantidad de configuraciones ‘micro’ posibles, podemos decir que la entropía total aumentó al dejar que los dos gases se mezclen. Hay muchos más estados ‘micro’ que siguen dando el mismo estado ‘macro’.

Muchas personas asocian intuitivamente el concepto de entropía al ‘desorden’ de un sistema. Ahora podemos entender por qué. Tener todas las pelotitas de cada color prolijamente acomodadas a ambos lados del tacho claramente es un estado más ordenado que la sopa violeta que resulta de mezclarlas. **El tema con el desorden no es el desorden en sí, sino lo que cuesta volver a ordenar.** Por ejemplo, el desorden de la ropa apilada en esa silla no se va a resolver si un día decidís empezar a pegarles a las zapatillas y las medias con un palo de golf con la esperanza de que queden mágicamente acomodadas en pares y además perfumadas. **Para volver a ordenar, hay que trabajar.** Lo mismo pasa con el gas violeta: a menos que te achiques como en una película de bajo presupuesto de los ’80 y te pongas a separar, una por una, las partículas de cada color en su respectivo lado del tacho, las cosas van a seguir viéndose violetas.

Todas las cosas que suceden de manera espontánea en el Universo –es decir, sin que alguien o algo invierta trabajo (lo cual requiere energía) para que sucedan–, son como el ejemplo de las pelotitas rojas y azules. **En todos los casos aumenta la entropía.** Y además, en todos los casos se trata de **procesos irreversibles** –es decir, a menos que te pongas a laburar, olvidate de volver a separar tu gas en las mitades de cada color o de tener tu cuarto ordenado–.

Pero **¿por qué la entropía siempre aumenta?** Quizá quede claro si reemplazamos esa pregunta con otra equivalente. Supongamos que tenemos dos estados posibles del Universo completamente azarosos, y uno se puede formar con 5 configuraciones distintas de todas las partículas del Universo, mientras que el otro es compatible con 1.000.000.000 configuraciones. ¿En qué estado es más probable que esté el Universo en un momento determinado del tiempo? La respuesta se encuentra de alguna manera en la pregunta. Aquello que tiene muchas

configuraciones posibles para un resultado observable es lo que vamos a encontrar más frecuentemente. Un estado macroscópico que resulta idéntico en cualquiera de su billón de configuraciones internas precisas es más *encontrable* que algo tan ordenado que sólo está presente en 5 configuraciones precisas. Por ejemplo, si tengo dos dados y quiero que la suma de ambos me de el número 2, solo puedo formar ese valor de una manera: obteniendo dos veces el número 1. Si quiero que la suma de los dados me de 7, hay más posibles combinaciones que me den ese resultado.

El hecho de que la entropía del Universo siempre aumenta define lo que algunos llaman la '**flecha del tiempo termodinámica**'. Estamos acostumbrados a naturalizar el sentido de avance del tiempo y no es algo que en general nos cuestionemos mucho. Pero, si cayéramos de golpe en este mundo de nada (que es de alguna manera lo que sucedió), ¿cómo podríamos asegurarnos para dónde va la cosa? Es decir, en un momento determinado del tiempo, **¿cómo decidimos qué es el pasado y qué es el futuro?** Podemos decir que **el pasado es cuando la entropía es menor y el futuro es cuando la entropía es mayor**. Dicho de otra forma: si nos muestran un video de un gas violeta separándose mágicamente en dos gases de colores azul y rojo, es fácil darse cuenta de que está siendo reproducido en reversa y, como vimos, se trata de un proceso en el que la entropía aumenta (para más ejemplos, pensemos en un montón de cenizas que empiezan a formar un cigarrillo).

El Universo evoluciona de manera tal que el desorden siempre aumenta. Alguna vez todas las cosas estuvieron muy ordenadas en una ínfima zona del espacio que después explotó en lo que algunos llaman *Big Bang*, y a partir de ahí todo fue cuesta abajo. La materia empezó a separarse en galaxias, en estrellas, en planetas, en nosotros. Y aún hoy la entropía y el desorden del Universo siguen aumentando. Así es que algún día nosotros vamos a morir, el Sol va a explotar y a disolverse en una sopa de partículas desordenadas flotando por el vacío, y lo mismo les va a pasar a todas las demás estrellas. La entropía va a seguir aumentando. ¿Para siempre siempre siempre? ¿O hasta cuándo? **¿Cómo terminará esta película de todo lo que existe?** Continuemos por favor por este sendero de la angustia.



Algún día la entropía va a alcanzar su valor máximo: todo el Universo llegará a un estado en el que las partículas que lo componen pueden adoptar una enorme cantidad de configuraciones, pero en todas esas configuraciones el Universo se ve exactamente igual en cada punto del espacio, es completamente uniforme y tiene la misma temperatura. Ese estado final del Universo es el estado más probable y nos

movemos constantemente en dirección hacia él. Un estado en el que ya nada más puede pasar, porque si pasase algo, la entropía tendría que aumentar, cosa que no podría ocurrir porque ya alcanzó su máximo valor. Una sopa de partículas incompatible con el cambio, incompatible con la vida y con la inteligencia. **Definitivamente, una sopa que no nos incluye.**

A esto se le llama ‘**muerte térmica del Universo**’, y es un concepto que aprendí por primera vez hace mucho leyendo un libro de termodinámica de mi papá mientras estaba en el baño (momento entrópico e introspectivo si los hay). Pero también de chico aprendí otra regla de la naturaleza (más bien, un dicho popular): ‘Todo lo que sube, tiene que bajar’ –cualquiera interesado en [bitcoins y otras criptomonedas](#) conoce bien esta regla—. Entonces **¿es cierto que si la entropía sube, en algún momento también tiene que bajar?**

Un tal George Wald (que entre otras cosas ganó un premio Nobel por el descubrimiento de los pigmentos de la [retina](#)) dijo una vez que “*dado el suficiente tiempo, lo imposible se hace posible, lo posible probable y lo probable cierto*”. Las pelotitas azules y rojas del gas que rebotan en el tacho podrían, en algún momento y por apenas un instante, encontrarse de repente separadas a cada lado del recipiente. Es una configuración probable, una entre una cantidad inconcebible y por lo tanto su probabilidad es inconcebiblemente pequeña. Pero, dado suficiente tiempo, la entropía puede revertirse espontáneamente, sin esfuerzo (sin trabajo), para luego volver a aumentar cuando las partículas vuelvan a mezclarse. Es decir, **la flecha del tiempo termodinámica podía darse vuelta por un instante.**

El Universo es, de alguna manera, un gran tacho lleno de pelotitas. Así que en ese momento final de entropía máxima en el que ya lo dábamos por muerto e incapaz de todo cambio y transformación, dado suficiente tiempo (podríamos preguntarnos exáctamente cuánto) puede ocurrir que las pelotitas adopten una configuración particular entre muchas, una configuración muy poco probable pero también muy especial: una en la que todas las pelotitas estén muy muy juntas en una zona muy muy chica del espacio para volver a explotar y darnos ‘El

Universo: segunda temporada (o tercera, o n-ésima)', con nueva flecha del tiempo y todo.

En 1890 el matemático francés **Henri Poincaré** introdujo su 'Teorema de recurrencia de Poincaré', el cual nos indica, en términos sencillos, dos cosas: 1) que el muchacho era muy inteligente y 2) que en un sistema físico cerrado (como nuestro tacho con gas o quizá como el Universo mismo) **todas las configuraciones que el sistema alguna vez adoptó vuelven a ocurrir si esperamos suficiente tiempo**. Es decir, que **la inversión de la flecha del tiempo termodinámica no sólo es una posibilidad sino que es una certeza matemática** (y no, este teorema de recurrencia no es 'tan solo un teorema', de la misma manera que la teoría de la evolución no es 'tan sólo una teoría'). **Ese tiempo que tarda un sistema en volver a repetir una configuración que adoptó en el pasado se llama 'tiempo de recurrencia de Poincaré'** y alguien lo estimó para el Universo mismo (CHAN). Pero no temamos (o sí, los optimistas de la vida eterna en cualquiera de sus formas): no es posible escribir ese número sin usar notación científica porque tendría más dígitos que la cantidad de electrones y protones disponibles en todo el Universo (qué vicio comparar magnitudes que nuestro cerebro no puede concebir). La física y la matemática nos indican que, quizás, efectivamente todo lo que sube tiene que bajar, todo lo que termina tiene que volver a empezar, y todo lo que muere tiene que renacer, aún si tarda 10 (!) años en hacerlo. Aún si tenemos que preguntarnos qué le pasa a nuestra angustia al pensar que, también en ese futuro en el que ya nos hemos convertido en sopa uniforme, existe una ventana de oportunidad, un escenario ínfimo en el que, aunque más no sea por azar, tenemos una chance de volver a ser lo que alguna vez fuimos.

Sumate en 
eglc.ar/bancar