

La termodinámica y la flecha del tiempo

A menudo se dice que la progresión de lo simple a lo complejo va en contra de las chances estadísticas derivadas de la Segunda Ley de la Termodinámica. En un sentido estricto, podemos eludir esas críticas, insistiendo en que la Segunda Ley no se aplica¹ a los sistemas vivientes inmersos en el ambiente en el que los encontramos. La Segunda Ley sólo se aplica cuando no hay un flujo de energía hacia y desde el sistema, mientras que todos los sistemas vivientes son sostenidos por un ingreso neto de energía.

Pese a que esta excusa es válida desde un punto de vista formal, me parece que evade el fondo del problema formulado y que debe ser respondido. Ciertamente, la vida no habría surgido y evolucionado en ausencia de un constante aporte de energía proveniente del sol, una especie de viento energético que sopla sobre la Tierra. Pero si no existiera más mecanismo de evolución molecular que éste, estaríamos lejos de comprender cómo moléculas más y más complejas logran su estabilidad. Todo lo que el flujo de energía puede hacer por sí solo, es incrementar el rango y la frecuencia de las variaciones en torno al estado promedio: esto es, estimular la formación de arreglos moleculares más complejos. Pero casi al mismo tiempo, la mayoría de esas variantes decaerían al estado normal por el usual proceso termodinámico de degradación; por lo tanto, resta explicar por qué no todos lo hacen y como, algunos arreglos complejos se estabilizan y se convierten, llegado su turno, en la base para el surgimiento de estructuras de mayor complejidad.

Es por lo tanto relevante discutir la Segunda Ley, que -según se la interpreta usualmente- significaría que todas las partes de un sistema deberían decaer progresivamente hacia estados más simples. Pero esta interpretación, claramente olvida el carácter estadístico de las leyes que en general rigen los estados alejados del equilibrio. La Segunda Ley describe el estado final de equilibrio de un sistema; si vamos a aplicarla a estados alejados del equilibrio, debemos formularla e interpretarla de una manera diferente. En esas condiciones, la Segunda Ley de la Termodinámica se convierte en una ley física sólo si se le agrega la condición de que no existan estados o configuraciones privilegiadas. En sí, la Segunda Ley se limita a enumerar todas las configuraciones que el sistema puede adoptar, destacando que la mayoría de estas corresponden a un valor medio sin características distintivas relevantes. Por lo tanto, si no hay configuraciones preferidas -esto es, no hay estabilidades ocultas en el camino hacia el equilibrio- debemos esperar que cualquier rasgo especial que encontremos será excepcional y temporario, y que a la larga, revertirá hacia el estado promedio. Este es un teorema cierto en aritmética combinatoria, y -como otras leyes estadísticas-, una suposición razonable sobre el comportamiento del sistema en el largo plazo. Pero poco nos dice sobre el mundo natural, el cual, en los años transcurridos desde que la Segunda

¹ El autor no afirma que la Segunda Ley de la Termodinámica carezca de validez en los sistemas vivientes, sino que llama la atención sobre el carácter de los seres vivos como sistemas abiertos. En estos, la tendencia a la desorganización espontánea, no puede deducirse prescindiendo de la interacción entre el sistema y el ambiente. La condición de aumento constante de la entropía se aplica al universo en su conjunto y a sistemas aislados; nada impide que se produzca una disminución local de entropía en un sistema abierto. (N de T)

Ley excitara la expectativa de una interpretación simple de todos los fenómenos naturales, se ha llenado de configuraciones preferidas y estabilidades ocultas, aún en el más básico e inanimado nivel de la estructura atómica.

La Segunda Ley describe el comportamiento estadístico de un sistema alrededor de un equilibrio cuyas configuraciones son todas iguales, y hace el obvio señalamiento de que tal sistema solamente puede fluctuar en torno a su estado promedio. No hay estados estables en tal sistema, y por lo tanto no existen estratos diferenciados que puedan establecerse y perdurar; el sistema permanece en el entorno de su promedio en virtud de un principio de indiferencia, debido a que la mayoría de las configuraciones se encuentran alrededor del promedio.

Pero si hay relaciones ocultas dentro del sistema que se dirige al equilibrio, que causan que algunas configuraciones sean estables, las estadísticas cambian. Las configuraciones preferenciales podrán ser extremadamente raras; no obstante, ellas presentan otro nivel en torno al cual el sistema puede agruparse, y ahora tenemos una contracorriente, una lucha de “tira y afloja” entre el sistema en este nuevo nivel y el estado promedio. Dado que el estado promedio no tiene una estabilidad inherente, la configuración estable preferida puede capturar a otros miembros del sistema con suficiente frecuencia como para cambiar su distribución estadística, y al final, el sistema adoptará este nivel como un nuevo promedio.

Por esta vía, sistemas locales, con dimensiones adecuadas, pueden escalar de un nivel de estabilidad al siguiente, aun cuando la configuración del nivel más alto sea extremadamente rara. Cuando un nivel más alto se convierte en un nuevo estado promedio, el sistema repite el salto hacia el nuevo nivel de estabilidad; y así sucesivamente.

Cuando existen niveles ocultos de estabilidad superpuestos -como los hay en nuestro universo- la consecuencia es que la dirección del tiempo viene dada por un proceso evolutivo que trepa por estos niveles, uno por uno. De hecho, si esto no fuera así, sería imposible concebir cómo la complejidad que observamos pudo surgir. Deberíamos postular un comienzo milagroso para cada oportunidad en que tales configuraciones improbables (nosotros entre ellas) ocurren; deberían ser prediseñadas y creadas por separado, sólo para ser inmediatamente abandonadas a su degradación en un caos de partículas individuales.

El tiempo, a un nivel macro, toma su dirección del proceso evolutivo que lo pauta y le da escala. Por lo tanto, no tiene sentido preguntar por qué la evolución tiene un sentido determinado en el transcurso del tiempo ni esbozar conclusiones especulativas. Es la evolución física y biológica la que le da al tiempo su dirección. La progresión de lo simple a lo complejo, la construcción de una estabilidad estratificada es el rasgo necesario de la evolución del cual el tiempo toma su dirección. Y no se trata de un avance en términos de empuje hacia el futuro, una flecha con destino prefijado. Lo que hace la evolución es dotar a la flecha del tiempo de una traba que impida el retroceso, y ya con esa traba, el juego de los errores y las probabilidades lo llevarán adelante por sí mismo.

Autor: Bronowsky, Jacob (Traducción Roberto Calvo).

Créditos:

✓ Referencias bibliográficas:

- Barlow, C. (ed). (1994). *Evolution Extended. Biological Debates on the Meaning of Life*. The MIT Press, Cambridge (Massachusetts) — London (England).

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2011



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).