

Juan Manuel R. Parrondo, catedrático de Física en la Universidad Complutense de Madrid y creador de la llamada Paradoja de Parrondo. C. FORTEZA

> ENTREVISTA

«Lo inesperado mueve la ciencia»

> **Juan Manuel Rodríguez Parrondo** es catedrático de Física en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) e investiga en el campo de la Física Estadística y de los Sistemas Complejos. **Elena Soto**

Creador de la llamada Paradoja de Parrondo, «la combinación de dos estrategias perdedoras puede dar lugar a una estrategia ganadora», citada en numerosas publicaciones científicas y en medios de comunicación de todo el mundo. Además es autor de más de 80 trabajos de investigación sobre entropía e información, motores moleculares, fluctuaciones y otros temas de física estadística. Juan M. Parrondo ha participado en la II Conferencia de Termodinámica Cuántica, organizada por el Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos (CSIC-UIB), un encuentro de referencia para todos los investigadores que trabajan en la termodinámica en el régimen cuántico.

Pregunta.— Dos derrotas equiva-

len a una victoria, brevemente esta sería la paradoja de Parrondo ¿Se puede generalizar a otros campos?

Respuesta.— En origen la paradoja consiste en dos juegos de azar que son perdedores y que cuando se alternan dan lugar a un juego ganador. Se publicó a finales del 1999 y existen algunas aplicaciones, más que de la paradoja en su formulación original, de la idea de que la alternancia de dos juegos, ambientes o dinámicas puede dar lugar a algo completamente distinto que cada uno de ellos por separado. Se ha aplicado en poblaciones de bacterias y virus o en la bolsa, pero muchas veces son aplicaciones especulativas obtenidas del estudio de la principal enseñanza que se deriva

de los juegos paradójicos.

En ciencia decimos que dos dinámicas, dos formas de evolucionar algo, si se alternan pueden dar lugar algo muy distinto, se puede hablar de complejidad inducida por la alternancia, y esta idea tan general puede dar lugar a aspectos interesantes con posibilidades de aplicación, que va mucho más allá de lo que es el juego original que, en principio, era una ilustración de juegos muy específicos.

P.— Fenómenos anómalos y, en concreto, las paradojas ¿son el motor de la ciencia?

R.— No son únicos, pero son motores importantes porque lo que están indicando es que la intuición a veces falla y que no te puedes fiar por completo de ella. Aunque el tér-

mino se puede aplicar en diferentes contextos, la paradoja, tal y como la entendemos ahora en ciencia, es algo que desafía la intuición y ayuda en muchos aspectos, sobre todo a la hora de cambiar la perspectiva que se tiene de un problema.

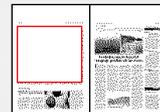
En este caso concreto, uno espera que cuando combinas dos cosas el resultado sea parecido y lo que te dice es que puede ser muy diferente, sugiriéndote explorar la alternancia de dinámicas y lanzándote el mensaje de que desconfíes de tu intuición. En ciencia lo inesperado es más sugerente e inspirador que lo evidente. Cuando un experimento da un resultado imprevisto mueve más el conocimiento científico.

P.— ¿Por qué la termodinámica, que se desarrolló para estudiar la

conversión de calor en trabajo, sobre todo en máquinas, ha pasado de un fenómeno particular a algo tan universal?

R.— Es muy interesante esa evolución porque la termodinámica comienza como una teoría de motores, aunque unida también con una teoría del calor. Impulsó la revolución industrial y su motivación inicial era muy práctica, pero acabó trascendiendo ¿por qué? En el fondo una máquina térmica, un motor, es un dispositivo que convierte un tipo de energía, por ejemplo combustible, en otro, puede ser movimiento o subir un peso, y lo fundamental es que esa conversión energética responde a leyes muy fundamentales.

SIGUE EN PÁGINA 2



VIENE DE PORTADA

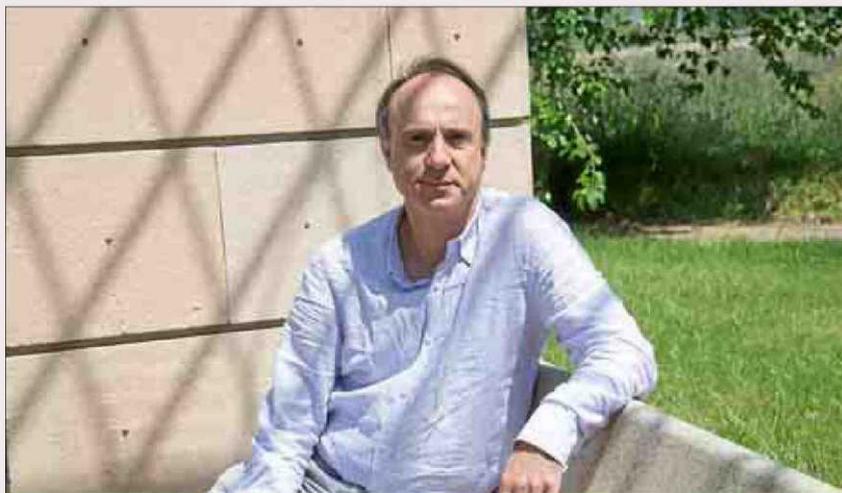
La primera de dominio público «la energía ni se crea ni se destruye...» y la segunda distingue entre ciertas calidades de energía, la que puede ser útil y la que no se puede recuperar, una especie de energía degradada. Cuestiones como la procedencia y la posibilidad de que se degrade la energía responden en principio al análisis de máquinas térmicas, pero en el fondo son respuestas a cualquier proceso de conversión energético y estos procesos están en todas partes, no solo en los motores, en biología la célula se puede considerar también una máquina.

La segunda ley de la termodinámica sobre la degradación de la energía plantea cuestiones mucho más trascendentes, como puede ser la evolución del universo. Si hay algo que se degrada y esa energía no puede recuperar su calidad de ser utilizada significa que el universo se irá degradando también hasta lo que se suele llamar la muerte térmica. Esa es la trayectoria que ha seguido la termodinámica de ser algo muy aplicado a pasar a preguntas tan trascendentales como la de la evolución de universo, pero lo que está siempre presente es la conversión de energía y la capacidad para convertirla de un tipo en otro.

P.- ¿Qué es el ruido en física? ¿Es un agente negativo o tenemos que comenzar a mirarlo con otros ojos?

R.- Llamamos ruido a algo que fluctúa de forma aleatoria y las fuentes de aleatoriedad son de lo más variado. En física existen unas fluctuaciones fundamentales que son las térmicas y ocurren en escalas microscópicas, la temperatura, por ejemplo, no es más que una agitación microscópica de las moléculas de una sustancia -a mayor temperatura más agitación- y, salvo en el cero absoluto, siempre existe; a esa agitación le llamamos fluctuaciones. En física se le denomina ruido porque las primeras veces que se detectó fue en amplificadores de sonido; ese molesto siseo de fondo que se oye en los circuitos no es más que la agitación térmica de los electrones. En principio, es

EL MUNDO DE LO NANO Y DEL FRÍO, TERRITORIOS DE EXPLORACIÓN



Juan R. Parrondo en la UIB durante el encuentro de termodinámica cuántica. C. FORTEZA

algo molesto porque afecta a la señal y siempre se consideró una perturbación no deseada que afectaba al buen comportamiento de un sistema, pero esta concepción cambió a partir de los años 80, cuando se llevaron a cabo unos estudios que pusieron de manifiesto que podía ser útil y constructivo, generando movimiento o haciendo que un sistema fuera más sensible, y estas investigaciones cambiaron nuestra visión sobre él. De hecho la paradoja surge de uno de estos estudios, concretamente está inspirada en unos sistemas físicos, los 'motores brownianos', que aprovechan el ruido (fluctuaciones térmicas) y que tienen que ver con la termodinámica a escalas muy pequeñas.

P.- ¿Existen aplicaciones o experimentos de este 'ruido beneficioso'?

R.- Sí, hay patentes que se basan en añadir ruido para mejorar la sensibilidad de algunos dispositivos y, aunque parezca algo contraintuitivo, en ocasiones facilita la transmisión de la señal. En los años 90 fueron muy comentados los expe-

rimentos que se llevaron a cabo con un pez de los ríos norteamericanos, cuando los investigadores observaron que su capacidad de detección de presas aumentaba si se le añadía un ruido al campo eléctrico que lo rodeaba, ganando sensibilidad e incrementando el número de capturas.

P.- Termodinámica e información ¿cómo se relacionan?

R.- Anteriormente hablé de la segunda ley de la termodinámica como la de la degradación de la energía, Maxwell, en el XIX, ya se dio cuenta de que esa degradación era en realidad una pérdida de información. Cuando la energía está almacenada en fluctuaciones que son aleatorias no puedes controlarlas, es lo que llamamos energía que no se puede convertir en trabajo (degradada) y, en el fondo, esa degradación es pérdida de información. Todo está ligado; la termodinámica, las fluctuaciones y la información.

Cuando la energía está en esas fluctuaciones es complicado conocerla, pero tiene la contrapartida de que si posees información de un

sistema y mides las fluctuaciones puedes extraer más energía que si no tienes esa información. Esa es la primera gran relación, que ya descubrió Maxwell en 1870, y plantea un problema de tipo filosófico sobre si la segunda ley de la termodinámica es objetiva o no, ya que la energía que podemos extraer de un sistema dependería de lo que sabemos de él.

La segunda relación es que cuando se procesa información la tarea va acompañada de ciertas consecuencias termodinámicas -calor o degradación de la energía-, es lo que ha dado lugar a la termodinámica de la información y son las limitaciones que se imponen a su procesamiento, igual que anteriormente las imponía a las máquinas. En los ordenadores actuales no son relevantes, pero creemos que en el futuro esas limitaciones pueden afectar a la construcción de ciertos computadores poniendo ciertos límites a la miniaturización de los procesadores.

P.- ¿Qué es lo más novedoso en el campo de la termodinámica en

régimen cuántico?

R.- Es un campo nuevo que ha comenzado a despertar interés en los últimos cuatro años. La mecánica cuántica es una teoría extraña que predice comportamientos muy distintos a los que estamos acostumbrados en el mundo macroscópico y puede ser muy peculiar en ciertas cosas, por lo que se pretende ver si hay efectos cuánticos que puedan ser relevantes en termodinámica. Sabemos que permite construir computadores más rápidos que los que se pueden hacer con sistemas clásicos, pero si las máquinas son cuánticas ¿esas limitaciones son mayores o menores? este es el tipo de cuestiones que se plantean. Y como es un campo muy nuevo se está desarrollando más teóricamente que a nivel experimental, aunque ya hay algún experimento muy interesante.

Creo que una de las aplicaciones más relevantes sería, precisamente, el poder controlar los sistemas cuánticos. Si conocemos cómo interaccionan y cambian energía con su entorno, sabemos también mejor como controlarlos. Uno de los problemas de este tipo de computación es que deje de ser cuántica y cualquier perturbación mínima en estos sistemas les puede llevar a perder su naturaleza.

P.- Nano y frío ¿por qué los experimentos van al límite del frío y del tamaño?

R.- La termodinámica se desarrolló para sistemas grandes como los motores, con el estudio de las fluctuaciones se investigaron sistemas pequeños, a nivel microscópico, como una célula, pero que no son cuánticos. Los fenómenos puramente cuánticos son muy frágiles y cuando aparecen perturbaciones el sistema deja de tener esa naturaleza, la temperatura es una perturbación porque agita las moléculas, y el tamaño, también, porque significa que está constituido por muchos elementos y es más difícil aislarlo, por eso siempre están ligados a temperaturas bajas, a sistemas pequeños o a ambos. El mundo de lo nano y del frío es el territorio de exploración de la termodinámica.