

Las simetrías ocultas y el caos

Kurt Bernardo Wolf
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos
Centro de Ciencias Físicas,
UNAM

Los físicos teóricos a menudo nos resulta difícil platicar a nuestros amigos que no son científicos, a qué nos dedicamos —en concreto. Y entonces recurrimos al “se puede aplicar en...” óptica, láseres, procesamiento paralelo de señales, análisis de imágenes pixeladas, pinzas ópticas, etc. Pero la verdad es que en mi cubículo no hay instrumentos ópticos ni rayos láser; sólo libros, tesis, reportes, artículos, notas de cursos y papeles burocráticos, ocupando doce gavetas de archiveros y seis cajones activos. Por otra parte, en mi lugar de trabajo se siente espacio y es tranquilo durante las noches. Cumpliendo con el número esperado de artículos de investigación publicados en revistas internacionales, se puede uno dedicar a vagar por el edificio de la ciencia, visitando otras especialidades, correspondiendo con colegas en el mundo, o hilando algunas ideas sobre las simetrías que encontramos en las ecuaciones que describen la naturaleza.

Un rostro simétrico nos parece bello en el mismo sentido estético que nos produce estar frente al Partenón, o recoger una estrella de mar de cinco picos; un placer similar al que habrán tenido los pitagóricos al contemplar las veinte caras del icosaedro, el último de los cinco poliedros regulares en tres dimensiones. Es una lástima que no hayan sabido de los seis polítopos regulares que descubrió Donald Coxeter (1907—2003), los cuales existen en un espacio de cuatro dimensiones; el último de ellos, el exacosioedroide, tiene 620 ‘caras’ de tres dimensiones. “Simetría” significa “con/en medida,” con justo balance. En la física matemática se precisa el término aplicándolo a sistemas o interacciones que son invariantes bajo algún grupo de transformaciones. La simetría del icosaedro, por ejemplo, está generada por las 60 rotaciones y reflexiones que lo llevan de una posición a otra indistinguible de la anterior —a menos que marquemos sus caras, en cuyo caso diríamos que existe una simetría rota. El desarrollo de la física de altas energías nos ha llevado a reconocer simetrías entre la pléthora de partículas elementales, simetrías que son rotas por marcas como la carga eléctrica, extrañeza y número bariónico.

Yo estudié con el Profesor Marcos

Moshinsky (1921--), reconocido como el físico teórico más prominente de México por sus trabajos pioneros en modelar el núcleo atómico y predecir muchas de sus propiedades. Su herramienta de trabajo es la teoría de grupos, sobre la cual no distraeré al lector, salvo para decir que trata de la formalización de la simetría. Durante un tiempo, el Dr. Moshinsky llevó amistad con el pintor David Alfaro Siqueiros (1896—1974), quien le enseñó algunos de los bocetos sobre los cuales trabajó para ejecutar sus murales más conocidos. Estos bocetos muestran las líneas rectoras en cuyas intersecciones están los elementos clave de la obra, sus simetrías ocultas, las que el público no ve directamente, pero que impactan al observador. Los muchos cuadros con el tema de la Última Cena, desde da Vinci hasta Dalí, contienen reconocibles líneas que dan balance a las masas de color y guían la mirada sobre avenidas de atención. El genio del artista consiste en romper la simetría del rectángulo de manera sutil pero sorpresiva, como la música de Bach, que repite un tema puntuándolo con acertadas variaciones. Un libro exquisito, “Gödel, Escher, Bach,” de Douglas R. Hofstadter interpreta los sonidos, las imágenes y las matemáticas como encarnaciones de la simetría que nuestra especie encuentra placentera.

Puedo dar un ejemplo más próximo, en el que trabajé un rato: el “ojo de pez” de Maxwell. Éste es un medio óptico inhomogéneo que fue descrito por el físico inglés a mediados del siglo XIX, y que en la actualidad se emplea en diseñar antenas de radar que corrigen el desfaseamiento entre anillos concéntricos del frente de onda, problema común en las antenas parabólicas viejas. En este medio los rayos de luz, o los frentes de onda del radar, se propagan en círculos —en vez de hacerlo sobre líneas rectas como en medios homogéneos. Y sucede —tendría que escribir las ecuaciones— que la simetría de este sistema es la misma de la que gozan los átomos hidrogenoides: simetría bajo rotaciones en cuatro dimensiones. En el átomo de hidrógeno es fácil reconocer la simetría bajo rotaciones en tres dimensiones, puesto que la atracción entre las cargas del protón y del electrón depende solamente de su distancia relativa, y no de su orientación en el espacio. Pero la simetría bajo rotaciones en cuatro dimensiones se debe a que las ecuaciones de movimiento del ojo de pez y del átomo se pueden transformar a las de una partícula libre moviéndose en una esfera —de

cuatro dimensiones. Las propiedades físicas manifiestas de este sistema tienen contrapartes directas en los otros dos, que son menos evidentes. Las rotaciones en la cuarta dimensión intercambian las órbitas elípticas del electrón, o de los planetas alrededor del sol, o de las trayectorias de las señales dentro de las antenas de radar, conservando su energía. Aquí avanzamos sobre los hombros de gigantes: Kepler (1571—1630), Newton (1643—1727), Maxwell (1831—1889) y Bohr (1885—1962), además de decenas de físicos que durante los últimos cincuenta años han gustado de explorar sus simetrías.

En efecto, las simetrías van aparejadas con leyes de conservación. Si las leyes de movimiento de un sistema son simétricas y no cambian en el tiempo, se conserva la energía; si no cambian de un lugar a otro, se conserva la cantidad de movimiento (masa x velocidad); si no dependen de la orientación en el espacio, se conserva el momento angular (cantidad de movimiento x radio de giro). La conservación de carga, extrañeza y otros números cuánticos se debe a invariancias ocultas que se descubren en las ecuaciones.

El caos es la antípoda de la simetría. Su significado original, (Tohu ve’vohu) en las primeras líneas de la Biblia, es desconocido, pero debe ser similar al de otras cosmogonías que comienzan con caos. Sin embargo, en el último medio siglo el concepto de caos ha sido objeto de estudio matemático y su perfil se ha precisado considerablemente. No se trata de la ausencia de leyes de movimiento, sino de las condiciones aleatorias del entorno, como mesas de billar cuyos lados no son paralelos sino arbitrarios. Allí, trayectorias inicialmente cercanas se separan con cada rebote sobre las paredes. Análogamente, en un sistema planetario con tres o más cuerpos de masas comparables, éstas pueden mantenerse en órbitas casi-estables por largos periodos, pero terminar con la eyección de una de sus componentes. El creciente poder del cómputo electrónico hace factible seguir la evolución de estos sistemas en lo que se denominan experimentos numéricos, y así determinar probabilidades relativas en el desarrollo y trayectoria de un huracán, por ejemplo.

En el Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM en Cuernavaca tenemos un grupo muy fuerte que trabaja sobre la teoría del caos, entre ellos los Dres. Thomas Seligman y François



MARCADORES DE TIEMPO | “Estos poco apreciados señores introducen así una regularidad temporal, un marcapasos cuya simetría rompe el caos del tráfico...”

Leyvraz, con especialidad en sus aspectos cuánticos. El caos satura el cosmos realmente existente: el batir de alas de una mariposa en Shanghai puede llegar a desencadenar, meses más tarde, un huracán en el Caribe; fluctuaciones aleatorias en el universo temprano llevaron a la distribución actual de cúmulos galácticos. El rompimiento del caos puede ocurrir por simetrías accidentales, como los anillos de Saturno bajo resonancias entre sus lunas pastoras, o la forma específica de un violín Stradivarius. El caos se reduce así a la superficie de un volumen de simetría. Las aplicaciones de la teoría son insospechadas; como ejemplo me gusta citar una investigación llevada a cabo en el Centro Internacional de Ciencias AC por dos visitantes, cuya atención fue captada por el tránsito de peseras en la ciudad de Cuernavaca. Publicaron un artículo en una revista inglesa bien conocida, titulado “Porqué en Cuernavaca los autobuses no llegan de a tres.” Porque en Londres, donde se establecen horarios para los buses, digamos que un grupo de personas sale de un cine y por recogerlos el bus se retrasa un poco, y por ello le toca recoger a más pasajeros que lo esperaron más tiempo río abajo, lo cual lo retrasa más. Así, lo alcanzará el siguiente bus y ambos andarán llenos y lentos; mientras, se reúne más gente que espera la llegada del primero —y segundo, hasta que un tercero alcanza a los dos primeros; y así recursivamente ad infinitum. Los investigadores demostraron (con métodos matemáticos precisos) que en Cuernavaca no sucede lo mismo porque las concesionarias contratan apuntadores que avisan a cada chofer sobre qué tan adelante va su compañero de línea, para acomodar su velocidad de acuerdo. Estos poco

apreciados señores introducen así una regularidad temporal, un marcapasos cuya simetría rompe el caos del tráfico, al menos en lo que se refiere a los tiempos entre peseras en Cuernavaca.

Una táctica similar puede funcionar para romper partes del caos que forma el resto del tráfico: utilícese el tiempo oficial de la radio y la televisión para recordar el “uno por uno” en confluencias de calles estrechas; no se estacione en las paradas de los autobuses; recálquese que en glorietas la preferencia corresponde a los que circulan saliendo de ella —como en los elevadores o en el metro— y no como en La Paloma, Zapata o Tlaltenango (y califíquese a los agentes de tránsito para levantar multas correctamente). Los hábitos de buen manejo son parte de la gramática social que da sentido a la comunicación (no verbal) entre conductores. Quienes hemos estado en Ensenada por ejemplo, habremos notado que allí conducen “a la americana” (no es cierto, también los europeos lo hacen —hasta los italianos), y el tránsito sí es más fluido. El cambio entre la gramática del tráfico agresivo y del civil fue bastante rápido en España y así podría serlo en Cuernavaca. Así habrá sido la decisión, a principios del siglo XX en cada país, entre circular sólo por la derecha, o sólo por la izquierda (simetría), o escoger carriles al azar (el caos).

La dialéctica entre la simetría y el caos se puede estudiar per se, en los muchos sistemas y problemas que nos presenta la naturaleza, o en la tecnología que hace uso de ambas, y que ha llegado a aplicarse con inesperado buen éxito en algunos nichos de la vida cotidiana.