



ROMPIMIENTOS DE SIMETRÍA EN EL UNIVERSO

"Los Dioses crearon al mundo con alguna imperfección simétrica. Esto, con el objetivo de que los humanos no sintieran envidia de sus poderes"

Richard Feynmann (Premio Nobel de Física)

MÁXIMO AGÜERO GRANADOS
Y JORGE BERNAL*

El corazón de los seres humanos está situado un poco a la izquierda. Los azúcares que componen los nucleótidos de la cadena de ADN son diestros. Ciertos artículos de uso cotidiano como los abrelatas, las paletas de los pupitres escolares o los desarmadores, son instrumentos diseñados para personas diestras, y no para las zurdas. ¿Por qué existe esta diferencia entre izquierda y derecha en muchos fenómenos de la Naturaleza?

He aquí un relato: "Hace algunos años, un barco sucumbió a consecuencia de una tormenta en alta mar. Pero afortunadamente (tal vez no, como lo veremos más adelante) los tripulantes del barco lograron sobrevivir y llegaron a una isla desconocida. Cuando se repusieron de sus penurias, empezaron a explorar, y cuál sería su sorpresa: la isla era pródiga de árboles frutales de todo tipo y color, verduras, animales que cazar, etcétera; es decir que no tendrían problemas para alimentarse. Pero el destino les deparó una sorpresa mayor. Por más que los naufragos consumían aquellos deliciosos alimen-

tos, no saciaban su hambre. El organismo de cada uno de ellos no asimilaba nada de lo que consumían vorazmente. Pasaron días y noches pero desgraciadamente sucumbieron en aquella isla misteriosa".

Veamos por qué sucedió aquella desgracia. Las víctimas de la catástrofe marítima llegaron al país "que está detrás del espejo" (sería interesante tratar de imaginar, cuando se mire algún espejo, cómo entrar a ese mundo). Las frutas, verduras y animales de esa isla estaban hechas a base del ADN zurdo. Por consiguiente los frutos de ese país no podían ser asimilados por los hombres. Para que pueda suceder semejante caso insólito, se podría asumir que en el inicio de la evolución de la vida en aquella isla tuvo que aparecer un líder biopolimérico que tenía simetría zurda. El papel de líder genético en ese lugar, era un biopolímero con una espiral diferente al nuestro, con un ADN que se enroscaba a la izquierda. Este es un relato fantásti-

co. Ahora veamos lo que en verdad la ciencia nos reporta.

Como se sabe, la información genética de los seres vivos en nuestro mundo se concentra en el núcleo de las células, en la molécula gigante que se denomina ácido desoxirribonucleico, más conocido como ADN y se enrosca en forma de espiral por la regla del sacacorchos. No hay ADN que esté enroscada en sentido contrario. Los fermentos que disocian a los alimentos no pueden actuar sobre moléculas que llevan información genética con ADN zurdos. ¿Por qué?

Como ya se conoce, la molécula de ADN da origen a la síntesis de proteínas, que son necesarias para la formación de tejidos en los seres vivos. Dicha molécula genera enzimas que orquestan la fisiología de todo el organismo. Para que estos procesos de síntesis moleculares y de funcionamiento fisiológico se desarrollen en una forma armónica, es in-

* Departamento de Física no lineal, Facultad de Ciencias, UAEM.
Correo Electrónico: mag@coatepec.uaemex.mx

dispensable una compatibilidad en la forma de las moléculas orgánicas. El enroscamiento diestro del ADN se debe a la presencia de azúcares derechos en su estructura; sería imposible insertar un azúcar izquierdo en algún lugar de la cadena. A su vez, las proteínas sintetizadas en los ribosomas celulares están constituidas por aminoácidos izquierdos. Este hecho es sorprendente puesto que existen cientos de variedades de aminoácidos, pero sólo veinte de ellos fueron seleccionados por la naturaleza como ladrillos de construcción de la vida.

Ahora estamos en condiciones de responder a la pregunta sobre la muerte de los naufragos. Lo que sucedió es que los alimentos que existían en la isla estaban constituidos por moléculas de ADN con azúcar izquierda, moléculas proteicas con aminoácidos derechos, etcétera. Esta fue la razón por la cual no pudieron asimilar los alimentos que encontraron en la isla. Es como si un hombre que perdió su mano izquierda quisiera colocarse un guante izquierdo en la mano derecha.

¿Por qué las moléculas orgánicas tienen esta preferencia por la izquierda o la derecha? Cuando en el laboratorio se sintetizan moléculas orgánicas se obtienen mezclas de moléculas derechas e izquierdas, a éstas se les conoce como racémicas. En 1848 Pasteur descubrió que era posible separar, auxiliado de un microscopio, los cristales izquierdos y derechos de un tipo de sales que se obtienen del vino conocido como ácido tartárico. Y en 1857 descubrió que un tipo de microorganismo conocido como *penicillium glaucum* actuaba sobre las mezclas racémicas de ácido tartárico dejando sólo a los cristales derechos. Esto significa que

estos microorganismos no pueden absorber los cristales zurdos de las mezclas. Una teoría que explica estos hechos dice que en el principio de la vida en la Tierra, existían moléculas orgánicas libres tanto derechas como izquierdas. Pero en algún momento se formó un polímero que se autoreproducía y tenía ventajas con respecto a otras formaciones moleculares primitivas, y este polímero ancestral estaba compuesto por azúcares derechas. Esta macromolécula fue la que evolucionó hacia



el ácido ribonucleico (ARN) que fue el origen de la maquinaria de la vida.

En 1988 se propuso una idea complementaria sobre el carácter derecho o izquierdo de ciertas moléculas orgánicas. Chamberlain, Seto, Hegstrom y Watson demostraron que los aminoácidos izquierdos requieren de una energía menor de ensamblado en cadenas proteínicas que los aminoácidos derechos. Esto constituye una explicación del porqué los organismos vivos prefirieron los aminoácidos zurdos.

Por otro lado, en el ámbito de la física de partículas elementales, en

los núcleos atómicos se da una interacción asimétrica tipo espejo. A este tipo de interacción entre las partículas se le denomina interacción débil. Ésta regula los procesos de decaimiento, de desintegración de los neutrones. La interacción es en realidad débil, en comparación con la interacción gravitatoria. Pero, es muy parecida en ciertas características mecánicocuánticas a la interacción electromagnética.

Muchos investigadores apoyan la idea de que debido a las interacciones débiles, los espirales del ADN diestros y zurdos deben diferenciarse en valores energéticos. Pero debido a la pequeñez infinitesimal de esta diferencia (10^{-17}) la interacción débil parece no jugar un papel importante en la creación de seres vivos (esta afirmación no la comparten otros grupos de especialistas).

Nosotros diremos entonces que la asimetría derecha izquierda del mundo actual es un típico resultado de un rompimiento espontáneo de la simetría, realizada hace muchos millones de años. El líder biopolímero, que apareció por primera vez en el caldo ancestral en forma casual, tomó una dirección definida

de su espiral. Esta elección casual se recordó a lo largo de los siglos, porque el polímero líder transformó todo el material necesario que existía en el caldo, para construir sus propias copias con el mismo tipo de enroscamiento.

En la técnica, los tornillos izquierdos no se diferencian en nada de los diestros. Pero si algún día, por ejemplo, los tornillos fueran hechos al azar derechos e izquierdos —es decir que la simetría izquierda derecha estuviera intacta—, entonces el uso de estos utensilios sería incómodo. La incomodidad se entiende aquí

como la inestabilidad del sistema simétrico.

La aparición y el desarrollo de la vida no es el único ejemplo de evolución. Otros son el surgimiento y la formación del lenguaje, la aparición y desarrollo de la música, el juego de ajedrez, la literatura, las artes en general, la ciencia, la economía, etcétera. Todos estos sistemas, en muchos aspectos son parecidos a los organismos vivos. Las concepciones científicas o las creaciones literarias nacen, y claro está que no todos fenece, muchos de ellos dejan descendientes. Por ejemplo, las ecuaciones de la teoría especial de la relatividad se obtuvieron con ayuda de hipótesis anteriores como la del éter (un ente que cubre toda la materia). Es decir que estas ecuaciones son descendientes del concepto del éter. Don Quijote no habría aparecido si no fuera por la ahora olvidada sociedad de los tiempos caballerescos.

Para nosotros es muy importante entonces cerciorarnos de que el desarrollo de todos estos sistemas se lleven a cabo precisamente por el recuerdo de la elección fortuita hecha anteriormente. Por ejemplo, la descripción del concepto primavera, por la palabra primavera es puramente casual, bien podría haber sido otra palabra. Pero esta elección casual, se fijó en piedras, pergaminos, libros, etcétera y en la memoria de la gente; y esta relación de las palabras con la gente se hizo estable.

El biofísico Koestler demostró en 1962 que el recuerdo de la elección casual conlleva a la creación de un nuevo tipo de información no existente en la Naturaleza. Por ejemplo, la autocatalización de la primera estructura de la proteína, el transporte del oxígeno por la sangre. Qué palabra asignar a tal o cual concepto, son todos ellos nuevos tipos de información que se fijan y se recuerdan para luego estabilizarse. Pero, también es muy probable que existan

tan sistemas que se encuentran en un estado cuasi estable que después, debido a ciertas perturbaciones, desaparezca la información almacenada.

El recuerdo de la elección fortuita como resultado del rompimiento espontáneo de alguna simetría y la aparición de nueva información, es el único modo posible de evolución para cualquier sistema, donde el desarrollo completo de todas sus variantes evolutivas es imposible. El primer acto físico histórico simple de este tipo fue entonces, la formación de las cadenas poliméricas en el primer caldo de la edad temprana de la tierra.

Abordemos ahora superficialmente algo referente a teorías fisicomatemáticas. Cuando uno estudia o analiza un fenómeno físico, y no se tiene a la mano un modelo matemático que describe ese fenómeno, entonces uno tiene que crearlo. La teoría matemática o el modelo teórico es como una caricatura del fenómeno en estudio. El problema consiste en hacer la mejor caricatura que describa al sistema. Un buen punto de partida de todo este intrincado problema es tratar de descubrir las simetrías del sistema, en el sentido de que ciertas propiedades del fenómeno se mantienen constantes bajo ciertas transformaciones de algunas otras características del sistema. Por ejemplo, el campo magnético en un imán que define y elige una dirección preferida en el espacio. Claro está que aquí se rompió la simetría rotacional. Esta elección se debe a que el material del cual está hecho el imán tomó esa dirección porque era la que tenía la menor cantidad de energía de todas las demás posibles. Diremos en terminología física que esta dirección del campo magnético está determinada por el estado de la mínima energía.

Sintetizando diremos que el estado simétrico en muchos casos no es el

estado de la mínima energía y que en el proceso de evolución hacia un estado de energía mínima, el sistema tiene que romper su simetría.

Imaginemos ahora una botella de vino. La base de ciertas botellas es peculiar: tiene una lomita en su centro. Ahora, coloquemos una pelota en algún lugar de la base de botella. El estado simétrico de esta colocación se da obviamente cuando la pelota se encuentra en el centro, es decir, en la cima de la lomita de la base de la botella. Si nuestro conteo de energía potencial se hace partiendo desde la base de la botella hacia arriba, entonces podemos decir que la pelota no está en un estado de mínima energía, ya que la pelota posee una energía potencial gracias a su elevación. Ahora tratemos de mover la pelota que está en la cima mediante cualquier golpe. Una pequeña perturbación enviará a la pelotita a rodar por las laderas de la lomita hasta llegar a las zonas de energía potencial mínima, que en este caso es una circunferencia. Como no se puede determinar de donde vino la pequeña perturbación, la pelota se deslizará hacia abajo tomando una elección cualquiera de camino, la elección será espontánea para que llegue hasta la base y allí se estabilizará. En lenguaje físico, a la base de la botella de vino (que determina el estado físico con mínima energía potencial) donde se acomodó la pelotita se le denomina también vacío o estado básico.

En la mecánica cuántica un problema fundamental es el de la definición o de elección del vacío o *vacuum*.

Cuando en la física se habla de vacío no nos referimos a la concepción cotidiana que se tiene de ésta palabra. En mecánica clásica, el vacío es el estado del sistema cuyo valor energético es el menor de todos los demás.

El vacío puede ser un estado físico constituido por una infinidad de partículas no observables. Debemos

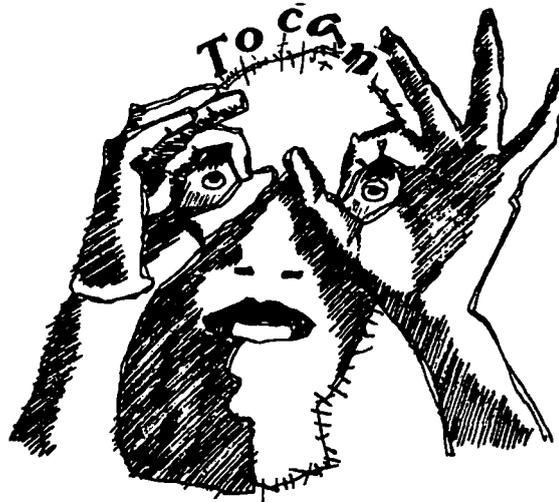
de aclarar que comúnmente a la mecánica cuántica se le divide en dos partes: una donde las partículas viajan a velocidades menores que la de la luz y otra en donde las partículas se mueven a velocidades cercanas a la de la luz.

En la mecánica cuántica relativista al vacío se le conoce también como Mar de Dirac, en honor a su descubridor, el físico inglés Paul Dirac. Este mar está conformado por los pares partícula-antipartícula. La teoría de Dirac introduce al par electrón-positrón, siendo este último la antipartícula porque posee carga eléctrica contraria a la del electrón.

En el mundo clásico macroscópico en el que vivimos, no se tiene un análogo a este vacío cuántico. Pero, para tratar de entender este concepto podríamos hacer la siguiente analogía: supongamos que se tiene un recipiente con agua, dentro del cual colocamos dos pequeñas mangueras, de tal manera que sus extremos coincidan en un mismo punto. Con una de ellas extraeremos una pequeña cantidad de agua y con la otra bombharemos el mismo volumen de aire. El resultado final es que dentro del recipiente se forma una burbuja de aire a la cual podemos llamar partícula de gas o antipartícula de agua y en el exterior observamos una partícula de agua (gota). Es decir, hemos formado un par que al mezclarse nuevamente se aniquila, esto es, la gota de agua vuelve a ocupar el volumen de la burbuja. La analogía no es exacta porque el aire no forma un verdadero hueco en el agua del recipiente.

¿Cómo se originó el Universo? ¿Hubo o no rompimiento de alguna simetría? Para tratar de resolver estas cuestiones, los físicos han creado lo que se llama el Modelo Estándar. Éste aplicado al origen del Universo, predice que en el principio, las fuer-

zas de la naturaleza (gravitatoria, electromagnética, débil y fuerte) estaban unificadas, es decir sólo existía una interacción universal. La teoría propone que las fuerzas entre partículas se da a través de otras, que son las intermediarias. La predicción es que dichas partículas en principio deben de tener masa cero. Esto, sin embargo, es un gran problema para



la teoría, porque a excepción de los fotones que son las partículas intermediarias de la fuerza electromagnética, las otras responsables de interacciones no cumplen este requisito.

Una buena parte de los físicos teóricos tratan de explicar los fenómenos del Universo mediante la creación de cierta teoría única de la cual, como casos particulares, emergerían las otras cuatro que ya mencionamos. Es decir, la idea consiste en unificar las fuerzas en un esquema final y armonioso, como las piezas de un rompecabezas complicado. Por el momento sólo se han podido unificar las fuerzas electromagnéticas y las débiles. Por esta unificación, Weinberg, Salam y Gleshow recibieron la presea universal de Nobel. En esta teoría, el modelo mantiene una simetría siempre y cuando las partículas responsables de la interacción tengan masa nula. En el caso particular de este modelo estas partículas son cuatro: El fotón,

y las partículas denominadas bosones de Higgs que son la partícula W^+ , la partícula W^- y el Z^0 . Pero es precisamente un rompimiento de simetría, conocido como mecanismo de Higgs, lo que permite adquirir masa a estas partículas. De esta manera, el fotón se mantiene con masa cero, y las otras partículas adquieren la masa observada en el laboratorio.

En las interacciones entre partículas también puede surgir algo análogo a la energía potencial sobre el cual ya se habló. Entonces, el vacío será el mínimo absoluto del potencial. Pero en la teoría se ve que antes de que el mecanismo de Higgs empezara a actuar el vacío es degenerado, es decir, que existen otros vacíos de igual nivel energético. Pero a medida que baja la temperatura, el sistema debe de elegir uno de esos vacíos para estabilizarse. La elección de uno de los posibles vacíos es lo que conduce al rompimiento espontáneo de la simetría. Este fenómeno es análogo al proceso que sucede con la pelota en la botella de vino.

¿Y qué pasa en niveles de estructura de la materia de enormes distancias? En el caso cosmológico, la teoría de la Gran Unificación nos daría un campo unificado primigenio. Cuando el Universo se expande y enfría en los primeros instantes de su evolución, la fuerza gravitacional se desacopla de las otras tres fuerzas, y este efecto se logra a través de un rompimiento espontáneo de simetría, mecanismo con el cual comienza a originarse la masa del Universo. En forma semejante, al enfriarse y expandirse más el Universo se desacoplan entre sí los restantes campos, hasta dar origen al tipo de materia que observamos en la actualidad.

En conclusión, es posible afirmar que la rotura de la simetría es el origen no sólo de la materia del Universo, sino también de la vida. 