

La simetría izquierda-derecha en la naturaleza

J. Rubén Morones Ibarra*

“La belleza y la verdad son afines”.

James Joyce.

“Es posible que la leche del mundo del espejo
no sea buena para beber”.

Lewis Carroll

ABSTRACT

Symmetry plays a very important role in the human being life. We find symmetry in nature, architecture, art and science. The importance of symmetry in physics, originates from its very close relation with fundamental concepts in physics and their conservation laws. The symmetries that we expect be satisfied by a theory are an excellent guide for the mathematical formulation of the own theory. Left-Right symmetry of the physical laws is taken by guarantee in Classical Physics. Nevertheless, this reflection symmetry is violated in modern physics by one of the fundamental forces of nature, the weak interaction. This amazing result was obtained in a famous experiment, which is known in the physics history as “the overthrow of parity”.

Keywords: Parity, symmetry, chirality.

INTRODUCCIÓN

La simetría es un concepto asociado con la belleza y la perfección. La más evidente de las simetrías está relacionada con simetrías geométricas o formas geométricas de figuras y cuerpos. Cuando la gente escucha la palabra simetría, le asocia usualmente un significado geométrico, de hecho, la simetría más simple que podemos imaginar y que es enseñada en li-

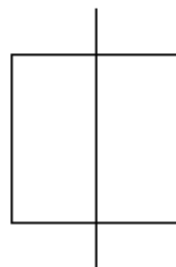


Fig. 1. El rectángulo es simétrico respecto a la línea que lo divide en dos partes iguales.

bros de texto elementales es la simetría especular. Si tomamos por ejemplo un cuadrado y trazamos una línea recta como la que se muestra en la figura 1, observamos que a ambos lados de la línea y a la misma distancia de ella, encontramos partes correspondientes del cuadrado. Esta línea se dice que es una línea o eje de simetría del cuadrado. Pensando en esta línea como el borde de un espejo plano que se coloca perpendicularmente al plano de la figura, veremos que la imagen en el espejo junto con la parte de la figura frente al espejo, completarán la figura original. De aquí viene el nombre de simetría especular. Toda figura que tenga por lo menos un eje de simetría, es idéntica a su imagen en el sentido de que puede superponerse punto a punto a su imagen en el espejo.

Podemos extender la idea de simetría especular a objetos tridimensionales, introduciendo el concepto de plano de simetría. Cualquier figura tridimensional que pueda ser cortada por un plano de tal forma que a uno y otro lado del plano tengamos partes equivalentes de la figura, en el sentido de que podemos superponer una a la otra, se dice que posee simetría especular. Este plano que biseca a la figura se conoce como plano de simetría de la misma. Diremos que un objeto que posee simetría especular es simétrico o que posee simetría bilateral.

* Publicado en la revista CiENCiAUANL, Vol. V. No. 2, Abril-Junio 2002.

* Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL.
E-mail: rmorones@cfm.uanl.mx

DEL ARTE A LA CIENCIA

La forma más primitiva del concepto de belleza que tiene el ser humano está relacionado con la simetría. La belleza de una iglesia o una catedral cuando se contempla de frente desde lejos, proviene del diseño simétrico que esta tiene. Este criterio inconsciente que usamos para juzgar la belleza de una construcción o edificio está basado en la simetría que hemos mencionado. Todas las construcciones antiguas y casi todas las modernas (ya que el arte moderno ha sufrido modificaciones respecto al arte clásico) satisfacen criterios de simetría. Prácticamente todos los objetos de uso común como platos, vasos, aparatos electrodomésticos, etc. poseen simetría bilateral, no tan solo por razones prácticas sino también estéticas.

El concepto de simetría ha atraído la atención del ser humano desde siempre. Los antiguos griegos consideraron al círculo y a la esfera como los objetos más perfectos en dos y tres dimensiones, respectivamente. Esto se debe a que el círculo es simétrico respecto a cualquier línea recta que pase por su centro y la esfera lo es respecto a cualquier plano que la corte pasando por su centro. La concepción divina del universo hizo suponer que los cuerpos celestes eran perfectos, teniendo forma esférica y girando en círculos alrededor de la tierra. Esta noción de perfección y simetría continúa presente en la física, con una extensión del concepto de simetría tal que permite incorporar ideas más abstractas que las simples concepciones geométricas. En general, en física se dice que un sistema físico o una teoría posee una determinada simetría si las ecuaciones que describen al sistema o que constituyen la teoría, no cambian al efectuar ciertas transformaciones en sus variables. Esta generalización del concepto de simetría sigue estando asociado a la belleza para quienes entienden las relaciones matemáticas. El distinguido físico teórico británico P.A.M. Dirac señalaba que si una ecuación que se obtenía para representar una ley de la naturaleza, era bella, debería de ser correcta.¹ En la actualidad una guía para quie-

nes desarrollan modelos matemáticos que representen leyes de la naturaleza es buscar siempre la simetría, lo cual, como ya dijimos, es sinónimo de belleza.

La existencia de las simetrías ha permitido que la naturaleza aparezca más simple de lo que aparenta. La importancia de la simetría en la física proviene de sus consecuencias, las cuales están establecidas en un poderoso teorema de la física teórica conocido como Teorema de Noether. Emmy Noether fue una matemática alemana que encontró una relación entre las propiedades de invariancia (simetrías) de una teoría y las cantidades físicas que se conservan en todos los procesos.

En la física moderna la simetría está asociada con ciertas operaciones matemáticas las cuales pueden tener un grado elevado de abstracción. Como un ejemplo relativamente sencillo consideremos la ecuación $y = x^2$, la cual es simétrica (invariante) ante la transformación $x \rightarrow -x$. Esta característica revela muchas propiedades de la función $y = x^2$. Y si, por ejemplo, esta relación aparece en la descripción de un sistema físico entonces podemos predecir, sin necesidad de ningún cálculo, algunas características del sistema. Este hecho es de gran importancia en física, cuando se desconoce la forma funcional de las interacciones pero se sabe que deben satisfacerse ciertas simetrías, es entonces cuando estas son una excelente guía para aproximar o proponer modelos para la teoría que describa estas interacciones.

SIMETRÍA I-D

En este artículo nos ocuparemos de la simetría izquierda-derecha (simetría I-D), también conocida como simetría especular o simetría bilateral. Decimos que una teoría posee simetría I-D cuando las ecuaciones que aparecen en ella son invariantes ante la transformación de coordenadas: $x \rightarrow -x, y \rightarrow -y, z \rightarrow -z$. Esta transformación es conocida como reflexión de coordenadas o transfor-

mación de paridad. Desde los inicios del desarrollo sistemático de la física, con Galileo y Newton, ha sido tomada como una hipótesis de trabajo que en la naturaleza no hay distinción entre la derecha y la izquierda. Esto significa que el mundo visto directamente no puede distinguirse experimentalmente del mundo visto a través de un espejo. En el famoso libro de Lewis Carrol "A Través del Espejo", cuando Alicia atraviesa el espejo y se encuentra en un cuarto donde la disposición de los objetos ha sido invertida respecto a la relación derecha-izquierda, ella reconoce este cambio por su experiencia visual del cuarto del mundo real. Sin embargo, si la colocamos en un cuarto para ella desconocido, no podrá distinguir mediante ningún experimento de física si el mundo donde se encuentra es el real o es el reflejado en el espejo. Una manera formal de decir esto es que las leyes de la naturaleza son invariantes ante una transformación de paridad, o más simplemente, ante reflexiones especulares. En el mundo macroscópico, la simetría I-D asociada a la existencia de un plano de simetría aparentemente no se cumple, como en el caso de Alicia que reconoce la diferencia entre el mundo del espejo porque su cuarto aparece invertido, o en el caso de la imagen en un espejo de una persona que conocemos, si esta tiene un lunar en la mejilla del lado derecho, en el espejo aparecerá el lunar del lado izquierdo, lo cual nos permitirá distinguir la imagen del objeto real. Sin embargo este no es el caso en los fenómenos físicos ya que no existe ningún experimento que nos permita determinar si es el fenómeno real o su imagen especular lo que estamos viendo. Conveniremos en establecer que existe simetría I-D en un sistema físico u objeto si al ser observado a través de un espejo es idéntico al sistema u objeto observado directamente. En una forma un poco más abstracta decimos que una teoría posee simetría I-D si las ecuaciones que constituyen la teoría no se alteran en su forma al efectuar una reflexión de las coordenadas.

Para darnos una mejor idea de lo que significa la

simetría izquierda-derecha pensemos por el momento en el choque de bolas de billar. Para describir estos choques usamos las leyes de la mecánica. Si observamos el fenómeno de los choques no directamente, sino a través de un espejo, la descripción matemática del movimiento de las bolas de billar sería idéntica a aquella hecha en la observación directa. Decimos entonces que ambas observaciones son indistinguibles desde el punto de vista de la física, o que las leyes de la mecánica tienen simetría especular. De hecho, una de las suposiciones de la física clásica es que la izquierda y la derecha son totalmente equivalentes y que el universo no tiene preferencia ni por una ni por la otra. Esta situación que permite usar sin restricciones sistemas de coordenadas izquierdos o derechos, se conoce como La Simetría Izquierda-Derecha del Universo o de la Naturaleza.

No obstante la aparente falta de distinción de la naturaleza entre la izquierda y la derecha, existen objetos que son distintos a su imagen especular en el sentido de que el objeto y su imagen no son superponibles. Este tipo de cuerpos se conoce como enantiomorfos y su existencia ha causado desconcierto entre no pocos filósofos. Manuel Kant en su libro «Prolegómenos a toda metafísica del porvenir», muestra su asombro ante esto con las siguientes palabras:

“¿qué puede ser más semejante a mi mano o a mi oreja y más igual en todas sus partes que su imagen en el espejo?. Y, sin embargo, yo no puedo colocar la mano que se ve en el espejo en el lugar de la original”.² Planteamos entonces la pregunta ¿es posible que existan otro tipo de objetos o cosas que sean exactamente iguales en todos sus aspectos y sin embargo ser de alguna manera diferentes? La respuesta es sí. Tenemos el caso de las partículas y las antipartículas o la materia y la antimateria,³ la diferencia se funda en que existen ciertas propiedades, expresadas mediante números cuánticos, que son de valores opuestos en las partículas y las antipartículas. En el caso de la reflexión especular, la diferencia se establece argumen-

tando que el objeto es de una “mano” (mano izquierda o mano derecha) y su imagen es de la otra “mano”.

Objetos enantiomorfos familiares son las manos (ver figura 2), los pies, las orejas, los tornillos, cualquier objeto que posea estructura de hélice, etc. Los compuestos químicos cuyas moléculas no son superponibles a su imagen especular, es decir, aquellas en que no hay manera de que rotando o cambiando de orientación una de ellas podamos superponerla a la otra, reciben el nombre de compuestos enantioméricos. Un par de enantiómeros tienen las mismas propiedades físicas excepto en su comportamiento respecto a la luz polarizada. Decimos que los enantiómeros son ópticamente activos ya que tienen la propiedad de girar el plano de polarización de la luz polarizada. Los compuestos que rotan el plano de luz polarizada hacia la derecha (a favor de las manecillas del reloj) cuando se le mira de frente, hacia la fuente luminosa, se denominan dextrorrotatorios, dextrorsos o dextrógiras (d) o derechos, y los que lo giran en sentido opuesto levorrotatorios o levógiras (l) o izquierdos.⁴

Las moléculas que existen como enantiómeros se dice que son moléculas quirales (quiral significa mano en griego). Todos los aminoácidos que entran en la composición de las proteínas son invariablemente izquierdos. Los enantiómeros son moléculas asimétricas (no superponibles a su imagen especular) y aunque tienen la misma fórmula molecular, no son la misma molécula. Los seres vivos tienen la capacidad de distin-



Fig. 2. La mano izquierda no puede superponerse a la derecha haciendo que coincidan ambas en todos sus puntos.

guir un par de enantiómeros, los cuales pueden tener propiedades químicas muy diferentes, siendo detectadas por el olfato o el gusto o metabolizadas de diferente manera, uno puede ser dulce y el otro amargo o uno puede tener propiedades curativas y el otro ser venenoso. H. Weyl, un notable matemático alemán describe en forma dramática la diferencia de propiedades entre un par de enantiómeros. “En el ser humano todos los aminoácidos tienen la misma torsión hacia la izquierda en todos los individuos, lo que se comprueba de manera bastante horripilante por el hecho de que el hombre contrae una enfermedad metabólica llamada fenilcetonuria, que produce amnesia cuando el individuo ingiere alimentos con fenilalanina levógira, mientras que la forma dextrógira no tiene estos desastrosos efectos”.⁵ Otro ejemplo trágico, famoso en la historia de la farmacología, es el de la talidomida, un medicamento ampliamente usado como sedante en la década de 1950. Se observó que contenía moléculas levógiras y dextrógiras, siendo las levógiras causantes de malformaciones fetales en mujeres embarazadas, mientras que las moléculas dextrógiras no eran dañinas.⁶ Por otra parte, y esta es una buena noticia para quienes se preocupan por el control del peso, los azúcares naturales monosacáridos son dextrorsos, pero se han sintetizado algunos azúcares levógiros que tienen un poder endulzante semejante a los naturales pero con la ventaja de que no son metabolizables y por lo tanto no producen calorías.⁷ La razón por la que estos azúcares no son digeribles es que nuestras enzimas solo metabolizan compuestos enantiómeros derechos. Sobra decir que en la actualidad hay un gran interés en la producción y comercialización de estos azúcares no nutritivos.

En la física siempre se supuso la conservación de la paridad (veremos más adelante que existe un tipo de fenómenos físicos donde no se conserva la paridad), sin embargo, en los fenómenos o procesos biológicos no ocurre lo mismo. Sabemos, por ejemplo, de la asimetría de la posición de algunos órganos como el corazón en los seres humanos, que siempre está al lado izquierdo y el apéndice o el hígado que se en-

cuentran al lado derecho, pero esto no es más que un accidente en la evolución de los seres vivos. En todos los casos de producción sintética de moléculas que presentan asimetría especular (enantiómeros), las moléculas de tipo izquierdo y derecho se presentan en proporción de 50% cada una. Esto se debe a la simetría I-D de las fuerzas gravitatoria y electromagnética, (principalmente esta última) que son las que intervienen en el proceso de formación de las moléculas. Puesto que no hay preferencia en I o D, el proceso no favorece la formación de ningún tipo especial de ellas. Pero algo muy diferente ocurre con las moléculas o cadenas de moléculas como los azúcares o proteínas que son formadas a partir de procesos desarrollados en los seres vivos. En todos estos casos se presenta un tipo de asimetría bien definido, sea izquierdo o derecho y por otra parte, en el caso de los aminoácidos, estos siempre son del tipo izquierdo. Esta asimetría fundamental en todos los seres vivos, de preferencia por la mano izquierda, es todavía un misterio, aunque algunos científicos suponen que no es un problema fundamental y es más bien un accidente, como el caso de la disposición de algunos órganos de los seres humanos mencionado arriba, esto evidentemente no es el resultado de que la naturaleza muestre preferencia por una “mano” sino que es el resultado de factores evolutivos de los seres vivos. No existe una razón biológica para pensar que una persona no puede sobrevivir si nace con el corazón del lado derecho. Como veremos más adelante, existe una violación de la simetría I-D por parte de las interacciones débiles y algunos científicos suponen que esta es la causa de la asimetría de los compuestos orgánicos. Se ha reportado que debido a la no-conservación de la paridad de las interacciones débiles los aminoácidos izquierdos son más estables que los derechos, siendo esta la causa de la asimetría.⁶

Pasando ahora a la aplicación del concepto de simetría I-D en el mundo de los átomos o de las partículas elementales, el concepto que se maneja como equi-

valente a la simetría I-D es el de paridad. La paridad es una propiedad estrictamente matemática de los sistemas físicos que se relaciona con el comportamiento de la función matemática que los describe, ante la transformación de coordenadas, $x \rightarrow -x, y \rightarrow -y, z \rightarrow -z$, la cual puede ser visualizada esquemáticamente como una reflexión del sistema en un espejo. Decimos que la paridad se conserva cuando existe simetría I-D. Habrá conservación de la paridad en un proceso físico si la imagen en el espejo de este proceso se observa en la naturaleza con la misma frecuencia o probabilidad que el fenómeno observado directamente. Podemos poner un ejemplo familiar de esto: si en nuestra casa encontramos un zapato del pie derecho, estamos seguros que en alguna parte debe estar el zapato del pie izquierdo, el cual es la imagen especular del zapato del pie derecho. De una manera semejante, si observamos un fenómeno físico, la conservación de la paridad nos dirá que el fenómeno correspondiente a la imagen en el espejo también debe observarse en la naturaleza.

La simetría I-D de todos los procesos fundamentales de la naturaleza era tomada por un hecho hasta antes del año 1956. En este año, los físicos T.D. Lee y

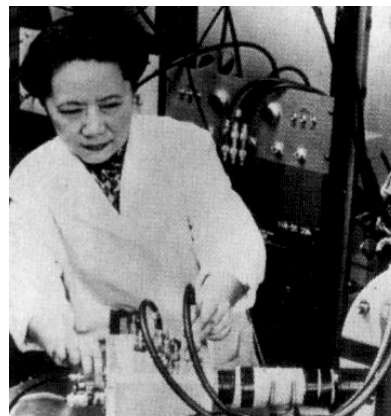


T.D. Lee (Izq.) y C.N. Yang físicos chino-norteamericanos ganadores del Premio Nobel en 1957 por sus investigaciones sobre la paridad.

Ning Yang empezaron a desconfiar de la aplicación del principio de conservación de la paridad en ciertos fenómenos de decaimiento radiactivo. La sospecha de que la paridad era violada se originó en un problema de la física de partículas conocido como enigma Teta-Tau.⁸ Este enigma apareció a principios de los años cincuenta y está relacionado con el decaimiento radiactivo beta. Dos partículas conocidas como teta y tau (es costumbre en la física de partículas elementales designar a las partículas con nombres de letras griegas) eran semejantes en todo, podríamos decir que idénticas, solo que una se desintegraba emitiendo dos piones y la otra tres. Aplicando la ley de conservación de la paridad a este fenómeno de desintegración nos lleva a la conclusión de que las partículas teta y tau son diferentes, pues si no lo fueran, el hecho de que decaigan de estas dos maneras implica que la paridad no se conserva. Lee y Yang, dos físicos chinos nacionalizados norteamericanos propusieron la audaz hipótesis de que ambas partículas, teta y tau eran en realidad la misma y que en las interacciones débiles la paridad no se conservaba. Esta alternativa revolucionaria fue confirmada experimentalmente en 1957, en un experimento sugerido por los mismos Lee y Yang, por C. S. Wu, física de origen chino que trabajaba en EUA.

EL EXPERIMENTO

Cuando se anunció la planeación del experimento para someter a prueba la ley de la conservación de la paridad en las interacciones débiles, uno de los más distinguidos físicos teóricos, Wolfgang Pauli, quien tenía la firme convicción de que la naturaleza respetaba la simetría I-D, afirmaba que no era necesario realizar el experimento, pues era evidente que esta ley se cumplía y que estaba dispuesto a apostar a que “El Señor no era zurdo”. Cuando se enteró del resultado del experimento que derrocaba la ley de conservación de la paridad, exclamó: “Dios cometió un error”.¹⁰ ¡La naturaleza distingue la derecha de la izquierda!.



C.S. Wu Investigadora chino-norteamericana que probó experimentalmente la no-conservación de la paridad en las interacciones débiles.

El experimento llevado a cabo por Wu tiene una interpretación muy sencilla. Se colocó una muestra de Cobalto-60, el mismo átomo que se usa en medicina en las bombas de cobalto, en un intenso campo magnético externo con el fin de alinear los espines de los núcleos atómicos y después se enfrió la muestra a la temperatura de 0.01 K. A esta temperatura, un alto porcentaje de los núcleos de ^{60}Co se encuentran orientados en la dirección del campo magnético externo. El ^{60}Co es radiactivo y decae mediante la interacción débil por emisión de electrones. Si la paridad se conserva, los electrones serían emitidos en igual proporción tanto en la dirección de la orientación de los espines como en la dirección opuesta, de tal modo que el fenómeno y su imagen especular serían indistinguibles. Sin embargo, el resultado del experimento revela que la mayoría de los electrones son emitidos en la dirección opuesta a la del espín nuclear (hacia arriba, como se muestran gráficamente mediante las flechas en la figura 3 (a)). La dirección de rotación de las esferas se ilustra con las flechas que aparecen en el ecuador de ellas. La regla de la mano derecha establece que si con los dedos de la

mano derecha apuntamos en la dirección de la flecha en el ecuador, entonces el pulgar indicará la dirección del espín. En (a) el espín apunta hacia abajo y en (b) hacia arriba. Este resultado evidentemente destruye la simetría I-D porque cuando se mira la imagen en el espejo de este fenómeno la dirección del espín se invierte, como se muestra en la figura, mientras que la dirección de emisión de los electrones se mantiene igual, resultando en la imagen una mayor proporción de electrones emitidos ahora en la dirección del espín, lo que nunca ocurre cuando se realiza el experimento.

El resultado contundente del experimento y la trascendencia del mismo, le valieron a T.D. Lee y Chen Ning Yang el otorgamiento del Premio Nobel de Física

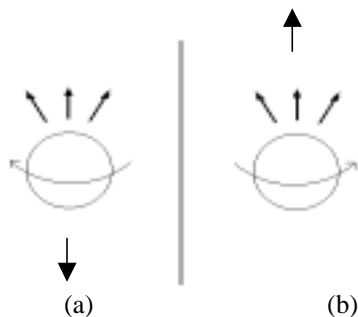


Fig. 3. En (a) la flecha inferior indica la dirección del espín y las flechas superiores la dirección en la que salen los electrones producto del decaimiento. En (b), que es la imagen especular de (a), la flecha superior indica la dirección del espín y las otras flechas la dirección de los electrones. El proceso (b) no se observa en la naturaleza.

ca el mismo año en el que se dio a conocer el resultado. C.S. Wu murió en 1997 y fue considerada una injusticia que no haya recibido el premio Nobel.

Con esto se lograba explicar el célebre “enigma teta-tau” y quedaba confirmada la violación de la conservación de la paridad. A este famoso resultado experimental se le conoce como “el derrumbamiento de la paridad”. Fue tan espectacular este resultado que Otto R. Frisch, el físico alemán que junto con Lisa Meitner descubrió la fisión nuclear, relata en su libro *Atomic Physics Today* que el 16 de enero de 1957

recibió una carta de un amigo que trabajaba en el famoso Instituto de Estudios Avanzados de Princeton donde le decía “aquí en Princeton no se habla de otra cosa, dicen que el derrumbamiento de la paridad es el resultado más importante desde el experimento de Michelson y Moreley”. El mismo Frisch en una conferencia en la Universidad de Cambridge comentó: “La extraña frase *la paridad no se conserva* dio la vuelta al mundo como un nuevo evangelio”¹²

COMENTARIOS FINALES

Un criterio muy *sui generis* para juzgar una teoría física es su elegancia y su belleza, pero por supuesto que la decisión definitiva proviene del experimento. Sin embargo los físicos piensan que el aspecto estético de una teoría es una buena guía para tomarla en serio debido a que el universo tiene una estructura simétrica, lo cual se identifica con la belleza. Por otra parte, los resultados obtenidos en experimentos sobre fenómenos del micromundo (partículas elementales), indican que nuestro mundo no es tan simétrico como creíamos. El derrocamiento de la paridad y otras simetrías, nos hacen pensar en una ligera falta de simetría total en el universo. Sin embargo los físicos continúan buscando la elegancia y la belleza en sus teorías debido a que esta actitud ha sido muy fructífera en el pasado, permitiendo grandes logros en el conocimiento de la naturaleza. La isotropía y homogeneidad del espacio, así como la homogeneidad del tiempo fueron suposiciones que condujeron a importantes conclusiones sobre el comportamiento de la naturaleza. Teorías abstractas usaron estas hipótesis y permitieron encontrar las leyes de la naturaleza, y describirla con un grado de exactitud impresionante.

Como Pauli lo hizo notar en su exclamación de que “Dios cometió un error”, la desviación de la naturaleza de la exacta simetría entre I-D, es un misterio para los físicos. Richard Feynman, uno de los físicos más notables del siglo XX, lo describe de la siguiente manera en sus famosas lecciones de física: “Hay una

puerta en Japón, en Neiko, que los japoneses llaman algunas veces la puerta más hermosa de todo Japón; se construyó en una época en que había una gran influencia del arte chino. Esta puerta es muy ornamentada, con muchos tímpanos y hermosas estatuas y columnas y cabezas de dragones y príncipes esculpidos en los pilares, etc. Pero cuando se mira de cerca se ve que en el dibujo elaborado y complejo de uno de los pilares, uno de los pequeños elementos de diseño está esculpido cabeza abajo; por lo demás, todo es completamente simétrico. Si se pregunta por qué es así, la historia es que se esculpió cabeza abajo para que los dioses no estuviesen celosos de la perfección humana". Feynman, con la agudeza de pensamiento que lo caracterizó, remata con la siguiente observación, refiriéndose a la violación de la paridad en las interacciones débiles: "Nos gustaría invertir la idea y pensar que la casi simetría de la naturaleza es ésta: ¡ Dios hizo las leyes solamente casi simétricas para que así nosotros no estuviésemos celosos de Su perfección !".¹⁴

Sorprendidos por este comportamiento de las interacciones débiles, los físicos buscaron restaurar la ley de la simetría I-D y propusieron que la forma correcta de la ley de conservación de la paridad debe incluir en la transformación, no solo la reflexión en el espejo de las partículas, sino también la transformación de partículas en antipartículas. Proponían que lo que debía entenderse por reflexión especular era en realidad una doble transformación en un espejo abstracto, al que llamaron CP, que producía la imagen especular ordinaria más un cambio de partícula a antipartícula. Esto pareció resolver el problema pero pronto se encontró una violación a esta nueva forma de expresar la ley de conservación. En el presente se ha incluido una nueva transformación, la inversión del tiempo, designada por T, la cual consiste en tomar el tiempo en reversa. Descriptivamente entendemos a T como la proyección hacia atrás de una película. La inclusión de la transformación T ha logrado que hasta el momento actual no se haya encontrado violación a

la combinación sucesiva de transformaciones CPT. El teorema CPT, que establece la invariancia de las leyes de la física ante este conjunto de transformaciones, es uno de los más importantes principios de la física teórica.¹⁴ Si entendemos la simetría I-D como el conjunto de transformaciones CPT, entonces el universo no distingue entre izquierda y derecha.

REFERENCIAS

1. Davies, P., Superfuerza. Biblioteca Científica Salvat, 1985
2. Kant, Manuel, Prolegómenos a Toda Metafísica del Porvenir, Colección "Sepan Cuántos" # 246 (1973), Editorial Porrúa, S.A.
3. Morones, R. y Elizondo, N., CIENCIAUANL, III.4, Oct-Dic/2000, P 436
4. Ebbing, D., General Chemistry, Houghton Mifflin, 1990
5. Weyl, H., Symmetry, Princeton University Press, 1952.
6. Jacques, J., The Molecule and its Double, McGraw-Hill, 1993
7. Badui, S., Química de los Alimentos, Pearson Educación, 1999
8. Griffiths, D., Introduction to Elementary Particles, John Wiley and Sons, 1987
9. <http://physics.nist.gov/GenInt/Parity/expt.html>
10. Gardner, M., El Universo Ambidiestro, Biblioteca de Divulgación Científica, 1993
11. Kaku, M., Beyond Einstein, Anchor Books, 1995
12. Novick, R., Thirty Years Since Parity Nonconservation, Birkhauser Boston, 1988
13. Feynman, R., Física Vol. I, Fondo Educativo Interamericano, S.A., 1971
14. Perkins, D.H., Introduction to High Energy Physics, Addison-Wesley, 1987