Diánoia, vol. 14, no. 14, 1968

LA SIMETRÍA COMO PRINCIPIO HEURÍSTICO

En este artículo nos proponemos hacer una formulación de la simetría sobre una base estricta que permita su aplicación dentro de la investigación científica. Así, exploraremos la fecundidad de la simetría como principio heurístico o pauta para estimular los descubrimientos, lo mismo que para sugerir nuevas ideas y encontrar atajos en la resolución de los problemas. En artículos ulteriores abordaremos el desarrollo de la simetría como un procedimiento riguroso para establecer hipótesis y para confirmar o verificar los resultados obtenidos y, también, con la ayuda de un cálculo lógico adecuado, intentaremos la formalización de la simetría con vistas a obtener el máximo de simplificación en su manejo y sus aplicaciones.

Partimos de la definición de Weyl[1] en su forma más general, esto es, consideramos que un objeto tiene simetría cuando es posible someterlo a una operación tal que, después de haberla ejecutado, el objeto se muestre igual que antes. Por consiguiente, la ejecución de una operación de simetría hace posible transformar los procesos, cambiar las condiciones de un experimento, extrapolar dichas condiciones a una región en donde no se haya realizado el experimento y ejecutar permutaciones entre los términos de las relaciones conceptuales, todo eso sin que se alteren los resultados. Desde luego, debemos aclarar que, cuando ejecutamos una operación de simetría, la transformación introducida se refiere a todo lo que es importante para que el proceso se desarrolle igual que antes, pero no al universo en su conjunto, ni siquiera a todo lo que existe en la región en donde se desarrolla el proceso.

El dominio de estudio de las simetrías de carácter isométrico está situado entre el campo de la geometría y el de la cinemática. La geometría estudia las propiedades comunes de las figuras congruentes, o sea, de las figuras que pueden ser sobrepuestas de manera que coincidan en todas sus partes. En cambio, la cinemática estudia las propiedades de los diversos movimientos ejecutados por las figuras, incluyendo las trayectorias que describen y el tiempo que emplean en recorrerlas, pero sin tomar en cuenta las fuerzas que producen esos movimientos.[2] Por su parte, la simetría isométrica estudia las propiedades de las operaciones que transforman una figura en otra figura congruente. Tales operaciones de simetría son movimientos rígidos o isome-

[1] H. Weyl, *Symmetry*, Princeton, Princeton University Press, 1952; traducción al español, *La Simetría*, Buenos Aires, Nueva Vision, 1958, p. 109.

[2] Cuando se consideran también dichas fuerzas, se pasa del dominio de la cinemática al de la dinámica.

trías, ya que transforman cada punto A de una figura en otro punto A' de la figura simétrica correspondiente, de tal manera que la distancia entre dos puntos cualesquiera A y B de la figura primitiva es igual a la distancia entre los puntos A' y B' de la figura simétrica correspondiente. Por lo tanto, mediante las simetrías isométricas se investigan las propiedades de los movimientos rígidos de las figuras, independientemente de las trayectorias seguidas y del tiempo transcurrido en su ejecución. En otras palabras, la simetría isométrica se ocupa del cambio de posición de una figura, entre una posición inicial y otra posición final, haciendo abstracción de todas las diversas posiciones que haya podido ocupar la figura entre las dos posiciones consideradas.[3]

Existen varias operaciones de simetría, de acuerdo con los diversos movimientos rígidos a que puede ser sometida una figura, como son la translación,[4] la rotación,[5] la inversión[6] y la reflexión especular.[7] Tales operaciones

[3] De manera análoga, el trabajo mecánico ejecutado por una fuerza depende solamente de la posición inicial y de la posición final, independientemente de la trayectoria recorrida.

[4] La translación de una figura F consiste en desplazarla como un todo una cierta distancia, de tal manera que todos y cada uno de los puntos de F se muevan la misma distancia, en la misma dirección y con el mismo sentido. De esa manera, a cada punto A de la figura F le corresponde un punto A' de la figura transladada F', y recíprocamente, al punto A' le corresponde el punto A; además, la recta que une el punto A con el punto A' tiene la misma longitud y el mismo sentido y es paralela a la recta que une cualquier otro punto B de la figura F con su punto correspondiente B' en la figura transladada F'. Como es fácil advertir, la figura F se puede obtener recíprocamente de la figura F', transladando ésta la misma distancia y en la misma dirección, pero en sentido opuesto.

[5] La rotación de una figura F consiste en hacerla girar como un todo alrededor de un punto fijo O en un ángulo α, de tal manera que todos y cada uno de los puntos de F describan arcos iguales en círculos concéntricos, en el mismo sentido. De esa manera, a cada punto A de la figura F le corresponde un punto A' de la figura girada F', y viceversa; además, los puntos A y A' son equidistantes del punto O, llamado centro de rotación, y lo mismo ocurre entre cualquier otro punto B de la figura F y su punto correspondiente B' en la figura transformada F'. Por otra parte, de modo recíproco, la figura F se puede obtener de la figura F', por medio de una rotación con el mismo centro O y con un ángulo α en sentido opuesto o, lo que es equivalente, con un ángulo de $(360° - \alpha)$.

[6] La inversión de una figura F consiste en desplazarla como un todo, de tal manera que todos y cada uno de los puntos de F y los puntos correspondientes de la figura transformada F' sean equidistantes y se encuentren alineados con respecto a un punto fijo O, llamado centro de inversión. Como es fácil advertir, la inversión es equivalente a una rotación alrededor de ese mismo punto O en un ángulo de 180°; por consiguiente, en el caso de la inversión, es indiferente el sentido en que se ejecute la rotación. El segmento de recta que une una pareja de puntos cualesquiera, A y B, de la figura F, es igual y paralelo y tiene sentido opuesto al segmento de recta que une la pareja de puntos correspondientes, A' y B', en la figura invertida F'. Por otra parte, la figura F se puede obtener recíprocamente de la figura F', por medio de una inversión con respecto al mismo centro O.

[7] La reflexión especular de una figura F consiste en invertirla como un todo con respecto a una recta m, llamada eje de reflexión, de tal manera que la recta que une un punto cualquiera A de la figura F y el punto correspondiente A' de la figura reflejada F', sea perpendicular al eje de reflexión y se encuentre bisectada por dicho eje. De esa manera, a cada punto A de la figura F le corresponde un punto A' de la figura reflejada F' que es su imagen especular y, recíprocamente, al punto A' le corresponde el punto A. Como es fácil ad-

pueden repetirse y combinarse de distintas maneras, aunque siempre producen finalmente el mismo efecto que una translación, una rotación, una inversión, una reflexión especular, o bien, una transformación de identidad, con la cual la figura transformada viene a coincidir con la primitiva en todo y por todo, inclusive en lo que se refiere a la posición ocupada, de tal manera que el resultado es enteramente equivalente al hecho de que no hubiera cambiado de posición ninguno de los puntos de la figura. Por otra parte, una figura puede tener también una simetría interna, de tal manera que determinados elementos de ella sean congruentes o enantiomorfos, unos con respecto a otros; y, desde luego, una misma figura puede tener más de una simetría, ya sea en relación con los mismos elementos o con respecto a otros elementos diferentes. Las relaciones de simetría parecen surgir naturalmente de la observación y el experimento, tanto en la física como en las otras ciencias, pero son más bien una abstracción. Es decir, que dichas relaciones se abstraen de los objetos y los procesos, prescindiendo de todas las demás propiedades de su existencia. Así, las simetrías son relaciones entre los procesos o entre sus elementos, que se aíslan relativamente y se destacan para su estudio.

Además de las simetrías de carácter isométrico que hemos mencionado, y de las simetrías temporales que les son análogas, existen otras simetrías de un tipo diferente.[8] Algunas de las simetrías más notables del universo son las que existen en las propias leyes fundamentales que gobiernan el funcionamiento del mundo físico. En realidad, la simetría es una característica de la estructura de las leyes científicas que, a su vez, constituyen las relaciones invariantes de los cambios y las transformaciones que ocurren en la realidad objetiva. Más específicamente, la consideración de la simetría de las leyes científicas es tanto como considerar las maneras en que las leyes pueden ser transformadas, conservando su misma forma. La simetría refleja una conexión lógica entre los elementos de la estructura de la realidad objetiva, de la misma manera en que las leyes de la física reflejan una relación lógica entre una secuencia de acontecimientos. En todo caso, la simetría correspon-

vertir, la figura F se puede obtener recíprocamente de la figura F', reflejándola especularmente con respecto al mismo eje m. Es importante señalar que la translación, la rotación y la inversión transforman una figura en otra figura que es directamente congruente con la primera, o sea, que, si se trata de dos figuras planas directamente congruentes, éstas pueden hacerse coincidir sin sacarlas del plano y, también, si se trata de dos figuras tridimensionales directamente congruentes, éstas pueden hacerse coincidir dentro de las tres dimensiones. En cambio, la reflexión especular transforma la figura original en una figura que es inversamente congruente o enantiomorfa, esto es, en una figura que se encuentra volteada al revés; así, por ejemplo, una mano izquierda es enantiomorfa con respecto a una mano derecha. Por lo tanto, para que dos figuras planas enantiomorfas puedan hacerse coincidir, es indispensable sacar a una de ellas del plano y voltearla al revés en la tercera dimensión; y, análogamente, para que dos figuras tridimensionales enantiomorfas puedan hacerse coincidir, se requiere voltear una de ellas al revés, llevándola para ese efecto a la cuarta dimensión.

8 Por ejemplo, existe una simetría de permutación, descrita por el hecho de que podamos sustituir un átomo por otro átomo del mismo tipo, o una partícula elemental por otra partícula elemental idéntica.

de a las correlaciones entre los acontecimientos, pero no a los acontecimientos por separado.

En el mundo físico existen varias leyes de conservación, algunas exactas y otras aproximadas; y, generalmente, cada ley de conservación es la consecuencia de alguna simetría subyacente en el universo. De modo correspondiente, para cada una de las relaciones de simetría se tiene la invariancia ante una transformación determinada y, por consiguiente, existe una ley de conservación.[9] Las leyes de la física son invariantes ante varias simetrías conocidas y, por ende, como las ecuaciones que expresan dichas leyes no cambian, los procesos que éstas gobiernan se muestran igual que antes de ser transformados. Así, la invariancia de las leyes ante la translación espacial implica la conservación de la cantidad de movimiento linear;[10] la invariancia ante la translación temporal entraña la conservación de la energía;[11] la invariancia ante la rotación espacial trae consigo la conservación de la cantidad de movimiento angular;[12] y la invariancia ante el desplazamiento de la fase de la función de onda de una partícula, está vinculada con la conservación de la carga eléctrica.[13] También hay invariancias que admiten excepciones, como sucede con la invariancia ante la reflexión especular, que implica la conservación de la paridad,[14] salvo en el caso de las interacciones débiles entre las partículas elementales.[15] De algunas simetrías bien conocidas, todavía no se

[9] Eso sucede estrictamente en la mecánica cuántica, pero no así en la mecánica clásica, en donde las leyes de conservación se pueden derivar, en cierto sentido, de muchas otras cosas.

[10] En el caso de las partículas elementales, si éstas son consideradas en su aspecto corpuscular, la cantidad de movimiento linear se sigue midiendo, como en la mecánica clásica, por el producto de la masa por la velocidad. Pero, si las partículas elementales son consideradas en su aspecto ondulatorio, entonces la cantidad de movimiento se mide por el número de ondas por unidad de longitud. No obstante tal diferencia, la ley de conservación de la cantidad de movimiento linear se sigue cumpliendo estrictamente en la mecánica cuántica.

[11] La energía existe en una gran cantidad de formas diferentes: energía potencial (gravitatoria), energía cinética, energía térmica, energía elástica, energía eléctrica, energía química, energía radiante, energía nuclear y energía de masa. Sin embargo, aunque la energía se puede convertir de una forma a cualquier otra, y viceversa, su magnitud total siempre se conserva.

[12] El ritmo de cambio de la cantidad de movimiento angular total alrededor de un eje cualquiera, es igual al momento de torsión externo respecto a dicho eje. Si el momento de torsión externo total es igual a cero, entonces el vector cantidad de movimiento angular total del sistema considerado es constante.

[13] La ley de conservación de la carga eléctrica significa que, contando el número de cargas eléctricas positivas y el número de cargas eléctricas negativas, y restando el segundo número del primero, se obtiene un número que nunca cambia. Es claro que es posible conjugar una carga positiva con una negativa, pero no se puede crear ningún exceso neto de cargas positivas, ni tampoco de cargas negativas.

[14] En una transmisión atómica en la que hay emisión de un fotón, la paridad del estado inicial es igual a la paridad total del estado final, o sea, al producto de las paridades del estado atómico final y del fotón emitido.

[15] Las interacciones débiles se producen entre las partículas livianas o leptones y entre éstas y las partículas pesadas o bariones. Tales interacciones son de corto alcance y no pueden formar estados estables.

sabe cuáles son las leyes de conservación que implican, como sucede en el caso de la simetría existente entre dos partículas idénticas cuando son intercambiadas.[16] Análogamente, existen también leyes de conservación para las cuales no se conoce la simetría que les corresponde, como sucede con la conservación de los bariones,[17] la de los leptones[18] y la de la extrañeza.[19] En fin, hay otras simetrías, como la existente entre las fuerzas nucleares, que permite intercambiar un neutrón por un protón, y viceversa,[20] pero que no constituyen una simetría general, porque la repulsión eléctrica que se produce entre dos protones a distancias mayores que las nucleares, no existe para los neutrones. Sin embargo, aunque no sea cierto que siempre se pueda sustituir un protón con un netrón, se trata de una buena aproximación, debido a que las fuerzas nucleares son mucho más poderosas que las fuerzas eléctricas.[21]

La simetría asocia el cambio y la invariancia en una unidad dialéctica. La conservación incluye la invariancia y la transformación en su mutua oposición.[22] En cambio, en la simetría, la conjugación entre el cambio y la conservación se produce en una síntesis armoniosa. La simetría se encuentra formulada matemáticamente en la teoría de los grupos[23] y tiene su expresión física en las diversas leyes de conservación. En rigor, el concepto matemático de simetría es una extensión, primero geométrica, luego algebraica y después lógica, del concepto de equivalencia de clase, que es el que nos permite establecer definiciones. Pero todavía no se ha construido un cálculo lógico que

16 Por ejemplo, la simetría con respecto al intercambio de dos electrones implica la conservación de algo que todavía no ha sido determinado rigurosamente.

17 La ley de conservación de los bariones o partículas elementales pesadas, significa que en cualquier reacción de cualquier carácter, si contamos el número de bariones que entran en un proceso, entonces el número de bariones que salen es exactamente el mismo; a cada barión se le asigna el número $+1$ y a su correspondiente antibarión el número -1.

18 La ley de conservación de los leptones o partículas elementales livianas, significa que contando el número total de leptones que intervienen en una reacción, resulta que el número de leptones que entran y el de los que salen nunca cambia; cada leptón se cuenta como $+1$ y cada antileptón como -1.

19 Debido a que en las interacciones fuertes entre las partículas elementales suceden cosas inesperadas, entonces, para explicar tal comportamiento se propuso un nuevo tipo de atributo asociado a cada partícula, al que se denominó número de "extrañeza", encontrándose que en cualquier interacción fuerte se conserva la "cantidad de extrañeza", es decir, la suma de los números de extrañeza de las partículas que intervienen en la interacción. Así, por ejemplo, en la interacción entre un mesón *kappa* negativo de gran energía y un protón, pueden surgir otras muchas partículas diversas; pero se ha observado que solamente se producen ciertas combinaciones en las que se conserva la cantidad de extrañeza y que nunca se producen aquellas combinaciones en las que no se conserva dicha magnitud.

20 La parte nuclear de la fuerza que se ejerce entre protón y protón, entre neutrón y protón, y entre neutrón y neutrón, es exactamente la misma.

21 El orden de magnitud de las fuerzas nucleares es 100 veces mayor que el de las fuerzas eléctricas.

22 Se trata de una oposición real y no de una contradicción lógica.

23 Los grupos mismos tienen una estructura simétrica, ya que un grupo queda determinado unívocamente por medio de un elemento neutro y una ley de simetría.

permita realizar todas las operaciones de simetría, ni tampoco se ha hecho una formulación dialéctica de la simetría. Desde el punto de vista físico, hay simetrías espaciales, temporales, cinemáticas, dinámicas y de permutación. Y el hecho de que la conservación de cada propiedad física fundamental definida se encuentre vinculada de manera inherente con una simetría igualmente determinada, expresa profundamente la interrelación estrecha e indisoluble que existe entre las diversas propiedades fundamentales de la materia.

En cierto sentido, las simetrías matemáticas sirven como modelo de los procesos físicos. Pero, en otro sentido, las simetrías físicas también llegan a constituir un modelo para las matemáticas. Tal cosa ha ocurrido, por ejemplo, con la simetría entre los cristales magnéticos y los cristales no-magnéticos, que ha sido utilizada para simplificar las formas matemáticas de los tensores que representan las propiedades físicas macroscópicas de los cristales (es decir, su estado estable), utilizando el método de aplicar sucesivamente a un tensor que tenga la menor simetría posible, la condición de que sea invariante con respecto a las transformaciones del grupo cristalográfico adecuado; o bien, empleando el procedimiento inverso, consistente en agregar términos de menor simetría a un tensor que tenga la mayor simetría posible, hasta obtener el tensor requerido.[24]

Por lo tanto, es conveniente desarrollar el tratamiento lógico de la simetría, extendiendo el conocimiento que ya se tiene sobre las simetrías espaciales, temporales y cinemáticas (que son simetrías continuas) y de sus implicaciones, al dominio de las simetrías dinámicas y de permutación (que son discontinuas). Desde luego, las operaciones del grupo de las simetrías continuas no sólo son bien conocidas y están firmemente establecidas, sino que también permiten hacer desarrollos fecundos, como el realizado recientemente por A. V. Shubnikov y otros. Como es sabido, solamente existen 230 grupos de simetrías con respecto a la repetición periódica de un objeto individual (es decir, de una rejilla). Sin embargo, Shubnikov y sus colaboradores encontraron que, si los objetos son iluminados en dos colores (en blanco y en negro, por ejemplo), manteniéndose idénticos en los otros respectos, entonces resultan posibles otros 1191 grupos de simetrías espaciales. A esos 1191 grupos de simetrías bicolores se agregan los 230 grupos de simetrías unicolores, dando un total de 1421 grupos de simetrías coloreadas. Ahora bien, debido a que la operación de intercambiar los objetos de un color por los objetos del otro color, equivale a introducir un intercambio entre los dos sentidos del momento magnético (lo cual, a su vez, corresponde a la inversión del tiempo), tenemos que los 1421 grupos de simetrías coloreadas corresponden biunívocamente a los 1421 grupos de simetrías magnéticas existentes entre los cristales magnéticos; de la misma manera en que los 230 grupos de simetrías unicolo-

[24] R. R. Birss, *Symmetry and Magnetism*, Amsterdam, North-Holland, 1964, pp. vi y 237.

res corresponden a los 230 grupos de simetrías no-magnéticas de los cristales diamagnéticos y paramagnéticos.[25]

En cambio, nuestro conocimiento acerca de los grupos de simetrías discontinuas no es tan fidedigno y es menos preciso. Por lo tanto, en ese caso, la ejecución de las operaciones de simetría únicamente nos permite hacer conjeturas acerca de las leyes de conservación que se encuentran implicadas. Así, por ejemplo, el descubrimiento de la violación de la conservación de la paridad para las interacciones débiles entre las partículas elementales, ha conducido a la formulación de tres conjeturas, por lo menos, que son las siguientes: *1)* la de que se han violado las propiedades de invariancia ante la reflexión especular y ante la conjugación de la carga eléctrica;[26] *2)* la de que, si se ejecuta una reflexión especular y simultáneamente se convierten todas las partículas en sus correspondientes antipartículas,[27] entonces las leyes físicas se mantienen invariantes ante la reflexión especular y ante la conjugación de la carga eléctrica, con lo cual se restauran las simetrías correspondientes;[28] y, *3)* la de que, si se combinan la inversión temporal y la reflexión especular, surge consecuentemente un principio de simetría expresado por las "relaciones de intersección de Goldberger", las cuales no se refieren a un tipo particular de interacción y poseen una validez ilimitada.[29]

Para la formulación de *la simetría como un método heurístico*, se pueden adoptar las siguientes bases:

I. Si en un proceso existen ciertas simetrías, entonces es posible obtener mayor información que si no existieran tales simetrías. Durante las últimas décadas, las leyes de conservación han incrementado su alcance y su poder. Esto se advierte especialmente en el dominio de la física nuclear y en el campo de la física de las partículas elementales, en donde los investigadores se han visto obligados a extraer el mayor significado posible de una cantidad de información mínima. La conservación de una magnitud es un conocimiento de

[25] R. R. Birss, *op. cit.*, pp. viii-x.

[26] C. N. Yang, "Law of Parity Conservation and other Symmetry Laws", *Les Prix Nobel en 1957*, Estocolmo, P. A. Norstedt & Söner, 1958.

[27] Lo primero que debe hacerse cuando se descubre la violación de una simetría, es examinar de nuevo lo que sucede con todas las otras simetrías conocidas y supuestas, para averiguar si se siguen cumpliendo o si también han sido violadas. Al realizar semejante examen en este caso, se ha encontrado que, inclusive para las interacciones débiles, las partículas con espin derecho son equivalentes a las antipartículas respectivas con espin izquierdo, y que las partículas con espin izquierdo son equivalentes a las antipartículas con espin derecho. En cambio, las partículas con espin derecho no son equivalentes a las partículas con espin izquierdo, ni tampoco las antipartículas con espin derecho son equivalentes a las antipartículas con espin izquierdo. Así, la simetría ante la reflexión especular queda restaurada, con tal que, cada vez que se intercambien los espines derecho e izquierdo, se sustituya igualmente la partícula por su correspondiente antipartícula.

[28] C. N. Yang, *Elementary Particles*, Princeton, Princeton University Press, 1962, p. 59.

[29] E. P. Wigner, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.*, 51, 1964, pp. 956-965; véase también su disertación en *Les Prix Nobel en 1963*, Estocolmo, P. A. Norstedt & Söner, 1964.

gran importancia para la solución de muchos problemas y, con frecuencia, es la única información necesaria.

II. *La simetría permite anticipar hipótesis* acerca de las formas de existencia de los procesos y sobre las condiciones en que dichos procesos subsisten. Sin embargo, es indispensable tener siempre en cuenta que nuestra concepción de la simetría se ha desarrollado a partir de innumerables experimentos en los cuales se conservan ciertas propiedades; de tal manera que las observaciones fueron primero y nuestro concepto de la simetría se estableció posteriormente y se encuentra basado en los experimentos. Por lo tanto, en el momento en que encontremos resultados experimentales que estén en desacuerdo con nuestra concepción de la simetría y de sus implicaciones, debemos estar preparados para revisar tal concepción. Por otra parte, las leyes de conservación que se encuentran entrañadas por las simetrías, también pueden servir para asegurar que algún proceso imaginado es imposible; como ha ocurrido, por ejemplo, al poder refutar así la idea del movimiento perpetuo o la de la construcción de un satélite artificial que fuese impulsado por medio de pesas colocadas en su interior.

III. La simetría permite hacer una formulación elegante de las leyes ya conocidas y, al propio tiempo, es un instrumento eficaz para diseñar la forma de las nuevas leyes, inclusive en el caso de que los resultados experimentales no sean suficientes. De esta manera, Huygens diseñó la ley de los choques elásticos, considerando dos masas elásticas iguales que chocaran con velocidades iguales y opuestas y suponiendo que dichas masas rebotarían de tal manera que sus respectivas velocidades se invertirían exactamente. Utilizando este argumento de simetría, Huygens predijo, sobre bases teóricas, los resultados de todos los experimentos posibles acerca de un choque monodimensional perfectamente elástico entre dos masas idénticas; siendo la característica común a todos ellos, expresada en la forma de ley, la de que la magnitud de la velocidad relativa tiene el mismo valor antes y después del choque. Más tarde, el argumento de Huygens fue extendido a los choques que no son perfectamente elásticos, que se producen en tres dimensiones y en los cuales lo que se conserva es la magnitud de la cantidad de movimiento, en lugar de la velocidad.

IV. Cuando se advierte la existencia de una simetría en el planteamiento de un problema, entonces, dicha simetría conduce generalmente a la solución o, al menos, a una familia muy estrecha de soluciones posibles. Las propiedades de simetría pueden servir de base para excluir muchas soluciones que parecen plausibles; pero las propiedades de simetría rara vez son suficientes para definir una respuesta única. También pueden ser combinadas con un número suficiente de otros requisitos para obtener el resultado que se busca, o bien, pueden ser aplicadas para verificar la solución encontrada de otra manera. En todo caso, la simetría angosta el camino de la solución, aun cuando no lo pueda precisar en algunos casos.

V. La simetría también posee la propiedad de la conservación, de tal manera que la simetría de las causas se conserva en los efectos que dichas causas producen. Sin embargo, la recíproca no es cierta, ya que no todas las simetrías de los efectos se encuentran necesariamente presentes en sus causas. Esta expresión puede ser llamada la ley monótona no-decreciente de la conservación de la simetría. En lo que se refiere a la resolución de problemas, la aplicación de esta ley nos permite esperar que cualquier simetría existente en los datos y en las condiciones de un problema, se conserve en la solución y, además, se refleje en el procedimiento que se siga para encontrar tal solución.

VI. La vinculación entre la simetría, la invariancia y la conservación, existente en la física, se puede extender y desarrollar, en principio, a los procesos investigados en otros dominios científicos y, por supuesto, al dominio de la lógica. De esa manera se podrá disponer de un instrumento fino para la exploración de nuevos procesos todavía no explicados. Como es sabido, entre los físicos es ya habitual que, para resolver un problema, se utilicen las leyes de conservación que sean pertinentes, una por una, y solamente después, cuando el problema sigue sin resolver, aun así, se emplean otros instrumentos de investigación.

Para concluir, nos referiremos a un caso interesante, que resulta ser bastante ilustrativo. Hace unos 70 años, Voigt pudo predecir, con apoyo en su teoría explicativa del efecto Zeeman inverso (que se refiere a la absorción de la luz, en lugar de a su emisión), que, como resultado de la acción de fuerzas magnéticas *débiles,* podía ocurrir una asimetría en la descomposición de las rayas espectrales, de tal manera que las dos componentes exteriores podían tener diferentes intensidades y encontrarse situadas a distancias diferentes de la raya central del espectro. Dicha predicción fue verificada experimentalmente por varios investigadores, entre otros por Zeeman.[30] Por otra parte, hace 10 años, Lee y Yang descubrieron la asimetría ante la reflexión especular en las interacciones *débiles* entre las partículas elementales. Pues bien, resulta tentador pensar que, si se hubiese tomado en consideración la conexión existente entre las fuerzas magnéticas *débiles* y la asimetría, entonces, por medio de una analogía, tal vez se hubiera podido conjeturar con anterioridad la vinculación existente entre las interacciones *débiles* y la asimetría. Más todavía, hasta nos atrevemos a proponer el postulado general de que: *Las fuerzas débiles siempre se encuentran vinculadas con alguna asimetría.*

30 H. A. Lorentz y P. Zeeman, *Les Prix Nobel en 1902,* Estocolmo, P. A. Norstedt & Söner, 1903.

Tanto en este respecto, como en otros, la simetría considerada como principio heurístico ofrece una fuente inagotable de posibilidades para la imaginación científica, aunque sus indicaciones no sean enteramente precisas o, tal vez, por esa misma razón.

Eli de Gortari

Instituto de Investigaciones Filosóficas
Universidad Nacional Autónoma de México