EPISTEME NS, VOL. 38, N° 1-2, 2018, pp. 101-111

NOTAS Y DISCUSIONES

Ruth Castillo

DE LA ARMONÍA AL AUTOMORFISMO: EL USO DE SIMETRÍA COMO TÉRMINO DEL METALENGUAJE EN FÍSICA

Resumen: Para Tarski[1] hablar acerca de la verdad en un lenguaje, y no generar contradicciones, requiere hacerlo desde un lenguaje distinto con mayor poder expresivo: el metalenguaje. Así que, un metalenguaje es un lenguaje que se usa para hablar acerca de otro lenguaje. En el lenguaje científico esta distinción es de mucha importancia. En física se da cuenta de la noción de simetría a través del lenguaje empleado dentro de las teorías físicas. De esta forma, por medio del lenguaje algebraico ─*automorfismo*─ damos cuenta de la simetría ─*invariancia*, *orden*, *equilibrio*─ encontrando (dentro del lenguaje de dichas teorías) el uso de la noción unas veces como *principio* y otras como *argumento*. La distinción en el uso de la noción de simetría, por parte de la física, nos permite vislumbrar la simetría como término del metalenguaje. A través de una breve reconstrucción histórica ─desde los griegos hasta la actualidad─ mostramos la noción de simetría como *término de metalenguaje* distinguiendo el uso ─principio y argumento─ que la física hace del concepto.

Palabras clave: simetría, automorfismo, principio, argumento.

FROM HARMONY TO AUTOMORPHISM: THE USE OF SYMMETRY AS A TERM OF METALENGUAGE IN PHYSICS

Abstract: For Tarski talk about the truth in a language, and not generate contradictions, it requires doing it from a different language with greater expres-

1 Valdés V., L., *La Búsqueda del significado: lecturas de filosofía del lenguaje*, Tecnos, Madrid, 1991, p. 275

Recibido 07-02-17 ☼ Aceptado 27-02-17

sive power: the metalanguage. So, a metalanguage is a language that is used to talk about another language. In scientific language this distinction is very important. In physics, the notion of symmetry is shown through the language used within physical theories. In this way, through algebraic language ─automorphism─ we shown the symmetry ─invariancia, order, equilibrium─ finding (within the language of these theories) the use of the notion sometimes as a principle and sometimes as argument. The distinction in use of the notion of symmetry, on the part of physics, allows us to glimpse symmetry as a term of the metalanguage. Through a brief historical reconstruction ─from the Greeks to present time─ we show the notion of symmetry as a metalanguage term distinguishing the use ─principle and argument─ that physics makes of the concept.

Keywords: symmetry, automorphism, principle, argument

1. *Simetría en la Antigüedad*

Para el propósito que impone el objetivo de este estudio, debemos clarificar qué entendemos por principio y argumento. Siguiendo a Aristóteles *principio*[2] es la naturaleza, el elemento, la inteligencia, el designio, la substancia y la causa final, mientras que entenderemos por *argumento*[3] aquellas explicaciones físicas que partiendo de una base que posee una simetría inicial conducen a conclusiones definitivas. La ausencia del término "simetría" en el mundo antiguo, lleva a los griegos a mostrarla de una forma *implícita* relacionándola con el conjunto de nociones de *proporción*, *equilibrio*, *permanencia*, *indiferencia*, *armonía*, *orden* y *belleza*[4]. Bajo esta perspectiva, la *simetría* en la antigüedad es entendida como *cuali-*

2 Aristóteles: "(…) todos los principios es común ser lo primero desde lo cual algo es o se hace o se conoce. Y de éstos, unos son intrínsecos y otros extrínsecos. Por eso es principio la naturaleza, el elemento, la inteligencia, el designio, la substancia y la causa final, pues el principio del conocimiento y del movimiento de muchas cosas es lo Bueno y lo Bello." Aristóteles, Metáfisica, D, Libro V, Cap.I, p.58

3 Entenderemos argumento como aquellas explicaciones físicas que partiendo de una base que posee una simetría inicial conducen a conclusiones definitivas. Para una mayor ampliación de esta idea Cfr. Branding, K., y Castellani, E., Symetry and Symetry Breaking, Stanford Enciclopedy, Stanford,2003

4 Cfr. Azcarate, P., *Obras de Aristóteles*, Madrid, Medina y Navarro, t.XX,1873, p. 354

dad o *aspecto* que muestra *armonía*, *orden* y *belleza*. De esta forma, para los griegos, la noción de simetría es *argumento* en tanto que sus conclusiones definitivas del mundo parten de una simetría inicial (la Tierra está en equilibrio debido a su perfecta simetría o la indiferencia con respecto a todas las direcciones en el espacio[5]), mientras que para los modernos la noción pasa a ser *principio* debido a que las leyes describen el mundo respondiendo a causa final. De lo anterior, sostenemos bajo la perspectiva griega que, la noción de simetría es entendida de manera tácita o implícita bajo aspectos estéticos y matemáticos dando cuenta del uso de la noción como *argumento.*

Más adelante, Eudoxo de Cnido presenta l*a teoría de las proporciones* con la finalidad de dar solución al problema de los irracionales expuesto antes por la escuela pitagórica; el objetivo de la teoría de Eudoxo fue evitar el uso de los irracionales como números sin dejar de hacer geometría usando para ello la noción de *magnitud*[6]. La conservación de la simetría a través de las relaciones entre razones (proporciones) da cuenta del tránsito —en el uso de la noción— de *argumento* a *principio*. Ya no se clasifica solo a través de cualidades o atributos; ahora aquello que preserva el orden y la armonía por medio de relaciones entre las partes también se dice *simétrico*.

Podemos decir que la noción implícita de simetría en la antigüedad distinguimos dos acepciones: una acepción figurativa, que viene dada a través del carácter *armonioso* y *ordenado* mostrándose como *cualidad* o *aspecto*, mientras que la segunda acepción está referida al *equilibrio* entre las distintas relaciones *entre el todo* y *las partes* a través de *magnitudes equivalentes*. Mientras *la figurativa* se muestra a través de atributos o cualidades (*argumento*), la segunda acepción clasifica como simétrico aquello cuyas *relaciones entre las partes y el todo* preserven el equilibrio (*principio*).

5 Roche, J., "A critical study of symmetry in physics from Galileo to Newton", en: *Symmetries in Physics (1600-1980)*, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 1987, p.6

6 Para un estudio completo revisar Castillo, R., La noción de simetría en física: una reconstrucción. Aproximación a la filosofía de la física, Académica Española, Madrid, 2008

2. Simetría en la Modernidad

Con el avance de la matemática y el álgebra las leyes pasan a ser la forma de representar el mundo aun así, la visión estética antigua (que comprende la noción de simetría de una forma implícita, figurativa o contextual) tendrá cierta influencia en la época moderna al considerar los aspectos o atributos del espacio; muestra de ello son las ideas de Galileo, las cuales además dan cuenta del cambio en el uso de la noción por parte de la física, al considerar los atributos del espacio, entendidos como *argumentos* de simetría, como *principio* de simetría al exigirse que todas las descripciones de la filosofía natural deben fundarse en tales aspectos del espacio. Además, Galileo amplía la noción de simetría en su segunda acepción, iniciada por Eudoxo Cnido, con los conceptos de *indistinción*, *invariancia*, *equilibrio* y *equivalencia*, bajo la consideración de las relaciones equivalentes entre movimiento y reposo en el principio relativista galileano: la distinción entre reposo y movimiento uniforme no es posible localmente. Tal indistinción (o invariancia) es debida a los aspectos simétricos del espacio que Galileo asume en su invariancia relativista como principio de simetría[7].

Bajo esta perspectiva, Leibniz, en su disertación con Newton a través de S. Clarke, arroja su solución al problema de la indistinción entre reposo y movimiento uniforme. Fundándose en el *Principio de Razón Suficiente* y la *Identidad de los Indiscernibles*, Leibniz sostiene (en contra de la tesis sustancialista del espacio) que no es un ser superior, como pensaba Newton, quien dará preferencia por un estado u otro, sino que ambos estados de movimiento se hacen *indiscernibles* al ser *equivalentes*, preservándose *orden*, *equilibrio* y *armonía* y con ello la *simetría*. En otras palabras, ambos estados de movimiento —reposo y movimiento uniforme— aunque distintos comparten una propiedad en común: velocidad constante, lo que los hace *iguales por equivalencia*. La adherencia de *igualdad por*

7 Cfr. Castillo, R., *La noción de simetría en física: una reconstrucción. Aproximación a la filosofía de la física*, Académica Española, Madrid, 2018

equivalencia dentro de *simetría* señala una transformación en la noción entendiendo como *simétrico* no solo aquello que puede cumplir la identidad (*unicidad*) sino también, dos cosas que no siendo *la misma* se dicen iguales debido a alguna propiedad en común compartida. De esta manera dentro del contexto histórico de Leibniz y Newton, si bien la simetría no es completamente explícita, la noción pasa a ser entendida bajo adición de relaciones de orden. Igualdad en sentido fuerte (*identidad*) e igualdad en sentido débil (*equivalencia*). Esta es la solución de Leibniz desde la cinemática: la vinculación entre *igualdad*, *identidad* y *equivalencia*[8]. Reposo y movimiento uniforme son estados de movimientos *distintos*, *indistinguibles* y *equivalentes*. La explicación científica de la indistinción perceptiva entre los estados de movimiento estará dada por la *equivalencia* entre sus *magnitudes*. Lo que asoma el *equilibrio* en la indistinción entre movimientos inerciales, no es el reposo versus movimiento, sino la *equivalencia* entre sus *velocidades*. La velocidad es constante en ambos, pero su valor es distinto en cada uno (reposo tiene velocidad constante nula); luego son *equivalentes* en magnitud, pero no iguales. La indistinción entre estados de movimientos, que lleva a la *equivalencia* entre las *magnitudes* da cuenta de la *simetría* en términos *equilibrio* y *equivalencia*. En esto Leibniz es fundamental ya que a través del análisis lógico da cuenta de la igualdad por equivalencia (sentido débil) como *principio de simetría*; a diferencia de la consideración de Newton, que da cuenta de la simetría como *argumento* a través de las propiedades del espacio.

3. La inquietud por la decidibilidad dentro del programa original de Hilbert

A diferencia de antiguos y modernos, en la época contemporánea dar cuenta de la noción de simetría pasa por comprender su significación dentro de las teorías físicas; es decir, la significación de simetría en física pasa través del lenguaje matemático, conduciendo a la noción a ser término del metalenguaje. En otras palabras: *Simetría* —en su uso como *principio* o *argumento*—

8 *Ibídem*

es *término de metalenguaje* en las teorías físicas que, por medio del lenguaje matemático, buscan responder a la invariancia o conservación de magnitudes equivalentes.

Sí asumimos como punto de partida las ideas de Leibniz, nos será más fácil comprender qué entiende la física contemporánea por *simetría* al vincularla con invariancia[9] en las teorías actuales y cómo la noción pasa a ser término del metalenguaje. Bajo análisis lógico que hace Leibniz, para dar cuenta de *equivalencia como igualdad en sentido débil*, la física contemporánea pasa a mostrar la relación entre simetría —explícitamente— e invariancia por medio del lenguaje matemático. De esta forma, para los físicos, la relación entre simetría e invariancia bajo análisis lógico y matemático es conocida como *automorfismo*[10] siendo éste una transformación que conserva la estructura del espacio[11]. De igual manera, *automorfismo* es capaz de transformar una figura en otra haciéndolas, en términos de Leibniz, *indiscernibles*, siempre y cuando se les considere de manera separada. El término *automorfismo* se le debe a Leibniz, y el mismo refiere a lo que en geometría se conoce por *semejanza*[12].

4. *Simetría como término de metalenguaje en álgebra.*

Leibniz sostiene que las relaciones dentro del espacio representan distintas transformaciones que dejan invariantes la estructura del mismo (*automorfismo*). En relación a las condiciones que cumple un *automorfismo* sostiene Weyl:

> (1)Toda figura es semejante a sí misma; (2) si una figura *F´* es semejante a *F*, entonces *F* es semejante a *F´*, y (3) si *F* es semejante a *F´* y *F´* a *F´´* entonces *F* es semejante a F´´. Los matemáticos han adoptado la palabra *grupo* para describir está situación, y así dicen

9 Cfr. Weyl, H. *La simetría*, Nueva Visión, Buenos Aires, 1958, p.47

10 Cfr. Mainzer, K., "Symmetry in Philosophy and History of Science. The Quarterly of the International Society for the Interdisciplinari Study of Symmetry" Revista *Symmetry: Culture and Science*, vol. 1, (1990), no. III, pp. 319-328

11 Cfr. Weyl, H., *La simetría*…cit., p. 23

12 Weyl: "Podemos entender semejanza cuando dos figuras geométricas tienen la misma forma sin importar los tamaños entre ellas" Ibíd., p.46

que los automorfismo forman grupos.[13]

De esta forma un *automorfismo* o auto-mapeo de figuras deja invariante la estructura; así mismo los *automorfismo* que cumplen estas tres condiciones, comprenden a su vez un *grupo* de transformaciones lo cual resulta plausible ya que los mismos son un caso particular de las transformaciones. Las transformaciones por su parte, se define como *una aplicación S del espacio que asocia a cada punto p del espacio otro punto p´ que es su imagen*[14]. En tal sentido, podemos asumir que la *reflexión* en un plano será una *transformación* asociada a la *simetría bilateral.* Por ejemplo: en una balanza en equilibrio, el intercambio entre cualquiera de sus partes no hace distinguible la transformación; a esta *indistinción* se le conoce como *reflexión*. Más aún dicha transformación es un *automorfismo*. De esta forma, si iteramos la identidad (I) por ejemplo, tendremos un *automorfismo*, ya que la identidad (I) es un *automorfismo* que aplica cada punto *p* sobre sí misma[15].

De lo anterior resulta que la identidad I es una transformación y contendrá su propia inversa. Pero a diferencia de la identidad, la composición de dos aplicaciones cualesquiera *ST* no tiene qué ser igual a *TS*, es decir no tiene que ser conmutativa. Luego, los *automorfismo* son transformaciones particulares. Aunque t*odo automorfismo es una transformación, no toda transformación es un automorfismo*. Es justo la aplicación de grupos de simetría la que ha tenido gran aceptación por parte de la ciencia, ya que la misma le otorga un lenguaje matemático para describir la *simetría explícita* en las teorías físicas mostrando la invariancia de las leyes independientemente del sistema donde se haga la descripción.

Este uso explícito de simetría dentro del lenguaje algebraico es empleado en teorías físicas. En física las *magnitudes* son *automorfismo*, garantizando con ello la invariancia o conservación de leyes en cualquier sistema de referencia. De esta forma, resulta natural para la física derivar leyes de la naturaleza y probar su validez por medio de leyes de invariancia o conservación, en lugar de derivar

13 *Ibídem*.
14 *Ibíd*., p. 45
15 *Ibídem*

las leyes de la invariancia o conservación de lo que creemos son las leyes de la naturaleza[16]. Esta inversión o giro (señalado por Einstein, al postular la universalidad de las simetrías del espacio-tiempo continuo) representa el primer punto de inflexión en la aplicación de la noción de simetría a la física del siglo XX estableciendo el uso explícito de la *simetría como principio*.

Esto nos permite postular dentro del lenguaje dos maneras de comprender el uso de *simetría explícitamente*: (1) asumiendo que bajo ciertas transformaciones los aspectos dados en fenómenos, sistemas o leyes son *incambiables* de acuerdo a una observación particular (*principios de simetría*; recuérdese la relación de orden mostrada a través de igualdad por equivalencia a la que refería Leibniz) y (2) a través de la derivación de consecuencias específicas con respecto a determinadas situaciones físicas o fenómenos sobre la base de sus propiedades de simetría (*argumentos*)[17].

Atenderemos a la primera postulación que refiere al uso de *simetría* como *principio*. En física contemporánea las leyes se derivan y se validan por medio de leyes de conservación. Esto da cuenta del uso explícito de la noción como *principio*. Ahora bien, las teorías físicas comprenden el lenguaje algebraico. Bajo esta consideración damos cuenta del uso de la noción de simetría como principio a través de los teoremas de Noether: cada simetría dentro de un sistema físico implica la conservación de alguna propiedad física del sistema al mismo tiempo que cada magnitud conservada le corresponde simetría. En otras palabras: la i*sometría* del espacio da cuenta de la conservación lineal de *momentum* mientras que la *isometría* del tiempo muestra la conservación de la energía. En tal sentido, en términos algebraicos, la *simetría espacio-temporal* refiere a aspectos del *espaciotiempo* que exhiben una forma de simetría[18] que cumple con las propiedades de translación de tiempo, translación espacial, rotación espacial, transformaciones Poincaré y transformaciones de inversión[19].

16 *Ibídem*

17 Cfr. Branding, K., y Castellani, E., *Symetry and Symetry*…cit., p. 4

18 Cfr.Wald., R., *General Relativity,* Pretice-Hall, London, 1975, p.18

19 Branding y Castellani:"Translación de tiempo: Un sistema físico puede tener los mismo rasgos sobre cierto intervalo de tiempo, esto es expresado matemática-

Del primer teorema de Noether se desprende la simetría del espaciotiempo como subconjunto de *simetría continua*, o sea, *subconjunto* de puntos del espaciotiempo. Esto, en términos de física relativista, se conoce como *simetría global*. Mientras que, *simetría local* refiere *todos* los puntos del espaciotiempo. De esta manera, considerando las propiedades simétricas del espaciotiempo (simetría continua) se da cuenta del uso explícito de *simetría como principio* a través de grupo de transformaciones en *simetrías globales* y *principio de relatividad* de Einstein (principio de *simetría* en relatividad especial) y grupo de transformaciones en *simetrías locale*s y principio de covarianza (*principio de simetría* en relatividad general).

En otras palabras: en relatividad especial el uso de *simetría* como *principio* es *principio de relatividad einsteiniano* garantizando la invariancia o conservación de leyes físicas frente a grupo de transformaciones de Lorentz y Poincaré; mientras que en relatividad general uso de *simetría* como principio es mostrado a través de *principio de covarianza general*. La validación de leyes físicas a través del principio de invariancia o conservación posibilitan identificar el uso explícito de noción de *simetría* como *principio* en física contemporánea.

---

mente como una invariancia bajo la transformación para cualquier número real t y a en el intervalo; Translación espacial: Esas simetrías espáciales son representadas por transformaciones de la forma y describen aquellas situaciones en donde la propiedad de un sistema no cambia con un continuo cambio de posición; Rotación espacial: Esas simetrías espaciales son clasificadas como rotaciones propias y rotaciones impropias. La primera son simplemente las rotaciones "ordinarias"; matemáticamente, ellas son representadas por matrices cuadradas de determinante uno. La segunda son representadas por matrices cuadradas de determinante -1 y consisten de una rotación propia combinada con una reflexión espacial (Inversión). Por ejemplo, una esfera tiene simetría de rotación propia; Transformaciones de Poincaré: Estas son simetrías espacio-temporales que preservan las distancias en el espacio-tiempo de Minkowsky. Por ejemplo, son aquellas isometrías del espacio Minkowsky. Estas son principalmente estudiadas en la relatividad especial. A aquellas isometrías que dejan el origen arreglado son llamadas transformaciones de Lorentz y dieron subida a la simetría conocida como Covariancia de Lorentz; Transformaciones de Inversión: Estas son simetrías espacio-temporales que generalizan las transformaciones Poincaré para incluir otras transformaciones uno a uno en las coordenadas espacio-tiempo. Las longitudes no son invariantes bajo transformaciones de inversión, pero en cuatro puntos en cruz es invariante." (traducción nuestra). Cfr Branding, K., y Castellani, E.,Symetry and Symetry,…cit., p.12

El segundo postulado refiere a identificar el uso de *simetría* como *argumento*. Para ello a través de transformaciones que muestran simetría en el fenómeno general o causal damos cuenta de cómo se mantienen en los fenómenos resultantes o posteriores. Más intuitivamente: las transformaciones que dejan sin cambiar los valores de los parámetros relevantes también dejan sin cambios sus efectos. Ahora bien, la cuestión radica en comprender qué se necesita para que la condición inicial cambie, o sea, qué es aquello qué hace que la simetría inicial (causa) sea distinta a la simetría final (efecto) y produzca una distinción. Para responder esto, tomemos como ejemplo la paradoja de Jean Buridan[20] y supongamos que el asno se decide por una opción, en tal caso, el asno estará *rompiendo la simetría inicial*, obteniendo una situación final con una simetría distinta (*asimetría*). A partir de allí percibimos un fenómeno: la ausencia de uno de los montones de heno o ausencia de una de las opciones.

Del ejemplo se desprende que *la ausencia de simetría*, o *ruptura de simetría inicial* cambia la simetría de la situación final; en términos físicos la asimetría crea el fenómeno. Ahora bien, una *ruptura de la simetría inicial* no puede ocurrir sin una razón, o una *asimetría* no se puede originar espontáneamente[21]. De lo anterior se puede afirmar que la simetría es atendida como argumento en términos de la relación entre las simetrías anteriores y posteriores de los estados de un sistema, y las leyes que conectan estos estados. La simetría como argumento se entiende como la propiedad o aspecto preestablecido en la descripción y de allí la derivación de las leyes.

5. Consideraciones Finales

Finalmente, el contexto histórico previo (entendamos las ideas de Leibniz, Galileo y Newton) son el asidero donde— y a partir del avance del álgebra— se desarrolla bajo relaciones de

20 Cfr. Castillo, R., *La simetría en física: una reconstrucción. Aproximación a la filosofía de la ciencia*, Académica Española, Madrid, 2018

21 Cfr. Branding, K., y Castellani, E., *Symetry and Symetry*…cit., p.13

orden una relación entre la noción de simetría y la invariancia de magnitudes físicas representando este vínculo un *automorfismo*. El portentoso aparato matemático exige comprender la simetría como una función numérica de la cual se soporta la descripción del mundo a través de la invariancia de leyes de conservación bajo transformaciones empíricas que son descritas en términos matemáticos. De esta forma, la simetría vincula la realidad empírica y la estructura matemática a través del lenguaje

Escuela de Filosofía-UCV
Departamento de Formación General y Ciencias Básicas
Universidad Simón Bolívar
chebichev@gmail.com