

LEYES Y SIMETRÍAS EN METAFÍSICA DE LA CIENCIA

Bruno Borge

Universidad de Buenos Aires, Argentina

orcid.org/0000-0002-1755-9690

Cristian López

Université de Lausanne, Suíça

orcid.org/0000-0002-2883-4037

RESUMEN: Hay diversas razones por las que el debate en torno a la noción de *ley de la naturaleza* ocupa un lugar central en la metafísica de la ciencia contemporánea. Además, quienes trabajan en este campo se han visto atraídos por la naturaleza y rol de los principios de simetría. Si bien es claro que ambas nociones están fuertemente ligadas, el debate filosófico en metafísica de la ciencia no ha reparado suficientemente en la relación entre ellas. En este trabajo emprendemos una reflexión en tal sentido, explorando, precisamente, el intersticio donde la metafísica de las leyes se articula con la metafísica de las simetrías.

PALABRAS CLAVE: Metafísica de la Ciencia. Leyes de la Naturaleza. Simetrías. Humeanismo. Disposicionalismo.

LAWS AND SYMMETRIES IN METAPHYSICS OF SCIENCE

ABSTRACT: There are several reasons why the debate around the notion of *laws of nature* occupies a central place in contemporary metaphysics of science. Furthermore, some attention has recently been paid to the nature and role of symmetry principles. Although it is clear that both notions are strongly connected, the philosophical debate in metaphysics of science has not sufficiently addressed the relationship between them. In this paper, we undertake a reflection in this direction, exploring the intersection where the metaphysics of laws articulates with the metaphysics of symmetries.

KEYWORDS: Metaphysics of Science. Laws of Nature. Symmetries. Humeanism. Dispositionalism.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en un marco de paulatina fragmentación de la filosofía general de la ciencia, algunos campos de debate conservaron cierta pretensión de generalidad o transversalidad respecto de problemáticas de las ciencias particulares. Algunos de ellos

centraron su atención en aspectos metafísicos, correspondientes a la ontología científica y al elenco de nociones necesarias para dar cuenta adecuadamente de ella. Las disputas en torno al realismo científico y a las leyes de la naturaleza son exponentes de esa tendencia. Esta corriente de debates, que acercaron a la filosofía general de la ciencia a la discusión metafísica, se vio complementada por una corriente inversa, que despertó entre muchos teóricos en metafísica un profundo interés por cuestiones científicas. En efecto, en el ámbito de la metafísica analítica, varios filósofos comenzaron a destacar la importancia desarrollar una metafísica *científicamente informada* (e.g. MAUDLIN, 2007; LADYMAN y ROSS, 2007; ROSS, LADYMAN y KINCAID, 2013; CHAKRAVARTTY, 2017). En términos simples, esta tendencia consiste en abordar una gran variedad de problemas metafísicos tradicionales a la luz de nuestras mejores teorías científicas, mediante sus herramientas conceptuales y formales. Si bien para tal fin se ha recurrido a la biología, la economía y la psicología evolutiva (entre otras disciplinas), una gran cantidad de inquietudes genuinamente metafísicas han sido reservadas para la física (LADYMAN y ROSS, 2007; BAKER, 2010).

El desarrollo de dichas corrientes, en uno y otro sentido, acabó derivando en intentos sistemáticos por establecer un campo relativamente autónomo de conocimiento dedicado tanto a la producción de propuestas metafísicas científicamente informadas, como a la elucidación de nociones científicas a partir de herramientas propias del análisis metafísico. *Metafísica de la ciencia* ha sido el rótulo más frecuente para agrupar esos esfuerzos (Cf. SOTO, 2015; SCHRENCK, 2016; BORGE, 2020).

Hay diversas razones por las que el debate metafísico en torno a la noción de *ley de la naturaleza* ocupa un lugar central en esta intersección. Las leyes constituyen la columna vertebral del poder explicativo y unificador de las ciencias fundamentando explicaciones, relaciones causales, predicciones y contrafácticos. Están, además, íntimamente relacionadas con la naturaleza del tiempo, el espacio y la probabilidad objetiva. El modo en que este problema se encarnó en las preocupaciones de los miembros del Círculo de Viena se vinculó con la distinción entre genuinas leyes científicas y generalizaciones accidentales. No obstante, el análisis se centró en las propiedades lógico-sintácticas de los enunciados legaliformes. En la segunda mitad del siglo XX, las preguntas metafísicas ganaron terreno en las discusiones en torno al concepto de ley, en gran parte como consecuencia de que los análisis lógico-sintácticos se mostraron insuficientes. El debate comenzó a moverse entonces en la dirección de encontrar los hacedores de verdad (“truth-makers”) de aquellos enunciados que consideramos auténticas

leyes científicas (a diferencia de las meras generalizaciones accidentales). La reflexión metafísica en torno a la noción de *ley de la naturaleza* dio forma a diversas teorías informadas por resultados empíricos y desarrollos propios de las filosofías de las ciencias particulares.

A la par de la discusión sobre el estatus metafísico de las leyes, filósofos y metafísicos de las ciencias se han visto atraídos por la noción de simetrías. Es indudable que, dentro de las explicaciones científicas, el concepto de simetría (o invariancia) juega un papel fundamental, ya sea en la búsqueda de nuevas leyes, de nuevas entidades o de nuevos experimentos. En términos generales, la noción de simetría depende fuertemente de la noción de ley científica: una simetría es la invariancia de una estructura formal (por ejemplo, una ecuación dinámica) frente a una transformación. En los últimos años, se ha dedicado gran esfuerzo no sólo a entender conceptualmente qué son las simetrías y qué papel teórico juegan en las explicaciones científicas, sino también a explorar si no pueden acaso también desempeñar un papel filosófico relevante al abordar problemas metafísicos clásicos. Es en este último sentido en el que el concepto de simetría ha ocupado buena parte de las discusiones en metafísica de las ciencias, principalmente en torno a cuál es la naturaleza del espacio y el tiempo, cuáles son las propiedades naturales o fundamentales y qué tipo de estructuras modales (si acaso alguna) el mundo posee.

Es claro que la noción de ley y simetría están fuertemente ligadas. Sin embargo, el debate filosófico en torno a dichos conceptos no ha reparado suficientemente en la relación entre ellos. En este trabajo emprendemos una reflexión en tal sentido, explorando, precisamente, el intersticio donde la metafísica de las leyes se articula con la metafísica de las simetrías. En la sección 1, presentamos brevemente los principales marcos desde los que se da cuenta de la metafísica de las leyes de la naturaleza (1.2) y examinamos críticamente el modo en el que desde cada uno de ellos se ha intentado dar respuesta al desafío de las simetrías (1.3). En la sección 2, nos ocupamos del desafío que imponen las simetrías y brindamos un panorama de las discusiones filosóficas que motivaron. Por último, la sección 3 incluye, a modo de conclusión, algunas notas sobre la relación entre leyes y simetrías en metafísica de la ciencia.

1 – EL DEBATE METAFÍSICO EN TORNO A LAS LEYES DE LA NATURALEZA

El debate en torno a cuál es la metafísica adecuada para dar cuenta de las leyes de la naturaleza ha ganado paulatina relevancia en filosofía de las ciencias y la metafísica en los

últimos sesenta años. El fracaso de proyectos enfocados en encontrar rasgos lógico-sintácticos de los enunciados legaliformes que permitiera trazar una distinción entre auténticas leyes científicas y generalizaciones accidentalmente verdaderas dio lugar, principalmente a partir de la década del '70 del siglo veinte, a un profundo debate metafísico acerca de los fundamentos de la regularidad natural. Incluso en las posiciones más modestas, reticentes a un compromiso (entre otras cosas) con la necesidad *de re*, se articularon en torno a propuestas metafísicas sustantivas para sostener la distinción entre leyes y generalizaciones accidentales.

Las diferentes posiciones en este debate se han dividido, primordialmente, en torno a si la explicación de las regularidades que encontramos en el mundo natural requiere de estructuras modales codificadas en leyes naturales, representadas a su vez por las leyes científicas de nuestras mejores teorías vigentes. Existen, básicamente, tres marcos generales desde los que se da cuenta de la metafísica de las leyes: el marco regularista-Humeano, que sostiene la tesis de la superveniencia humeana, negando la existencia de modalidad en el mundo; el marco disposicionalista, que acepta la existencia de modalidad en el mundo, pero niega que esta surja de las leyes, y el marco realista, que sostiene la tesis que las leyes son exclusivamente la fuente de la modalidad en el mundo y, en consecuencia, *gobiernan* la ontología fundamental. Cada uno de estos marcos ha dado lugar a una amplia gama de variantes y matices. En el debate metafísico en torno a las leyes de la naturaleza confluyen desarrollos filosóficos de diversas áreas de la filosofía analítica. Además de tratarse de un tema central para la filosofía de las ciencias, esta disputa se nutrió fuertemente de (e influyó significativamente en) diversas áreas de la metafísica analítica, la filosofía del lenguaje, la lógica y la epistemología (principalmente, la metafísica y lógicas modales, la semántica de mundos posibles y la epistemología de la modalidad). Sin embargo, este carácter integrador hizo de la disputa acerca de las leyes uno de los tópicos característicos (e incluso fundante) de la metafísica de la ciencia, como un campo autónomo de debate.

1.1 – Regularismo Humeano

Las posiciones regularistas se enmarcan comúnmente en una pintura metafísica humeana de nuestro mundo, trazada primordialmente por David Lewis (1986), cuyo rasgo central es la ausencia de conexiones necesarias en la naturaleza. A pesar de no ser necessitaristas (es decir, de no suscribir un compromiso ontológico con la necesidad *de re*), las teorías realistas pretenden dar un relato positivo sobre la noción de ley de la naturaleza. Antes

de entrar en ese ámbito, no obstante, es útil caracterizar el marco metafísico de dicho relato. Para el humeanismo, el mundo está constituido por estados de cosas discretos, locales, que son cada uno ontológica y causalmente independientes del resto. El resultado es lo que se conoce como mosaico humeano. El humanismo se completa con dos tesis adicionales, La primera, sostiene que todas las propiedades y relaciones perfectamente naturales son categóricas (es decir, no relacionales o disposicionales). La segunda, afirma que todas las verdades supervienen al mosaico humeano (es decir, que la distribución contingente de propiedades perfectamente naturales es el hacedor de verdad de toda proposición acerca del mundo). En general, las piezas del mosaico están dispuestas en relaciones regulares de semejanza y contigüidad espacial, pero fuera de ellas no hay ninguna relación necesaria que las conecte. Ese es nuestro mundo, *una cosita y luego otra* (LEWIS, 1986, p. IX).

La imagen del mosaico es apropiada en otro aspecto: la independencia de cada una de las piezas no implica que no existan regularidades; por el contrario, la investigación empírica es capaz de hallar complejos patrones en la distribución de las piezas. Esta imagen metafísica, a pesar de ser antirrealista respecto de la modalidad, deja espacio, según los humeanos, a una caracterización positiva de las leyes de la naturaleza. La teoría más popular en este marco es la llamada *teoría de los mejores sistemas* (TMS). La TMS fue defendida por Ramsey (1978), Lewis (1973, 1983, 1986, 1994), y Loewer (1996, 2019). La idea central es que las auténticas leyes de la naturaleza son los axiomas y teoremas del mejor sistema deductivo del que se siguen todas las verdades acerca del mosaico. Donde “mejor sistema” significa aquél que logra un balance óptimo entre simplicidad y fuerza deductiva. Es interesante notar que estas virtudes teóricas están en competencia. Puede lograrse articular un sistema deductivo muy simple sacrificando fuerza, y un sistema altamente informativo a costa de su simplicidad.

1.2 – Disposicionalismo

El debate metafísico tradicional tiende a reconocer que la esencia individual de una propiedad es algo diferente de su perfil causal, es decir, una propiedad es algo más que lo que ella hace o puede hacer. Esta posición suele identificarse como aquella que defiende la existencia de propiedades categóricas, o más directamente como *categoricalismo*. Dada su lejanía con el realismo acerca de la modalidad, el categoricalismo se prefiere especialmente (aunque no de modo excluyente) en el marco de la metafísica humeana (e.g. PSILLOS, 1999; LEWIS, 2009). La mayor preocupación en torno al categoricalismo es la doctrina asociada del

quidditismo, que surge como consecuencia de su caracterización de las propiedades. Si el perfil causal de una propiedad no agota la identidad, entonces dos propiedades distintas podrían compartir exactamente el mismo perfil causal. Pero entonces aquello que las distingue debe ser una esencia individual, una *quidditas*.

El *disposicionalismo*, por el contrario, afirma que no hay nada que fije la identidad de una propiedad más allá de su perfil causal. Una propiedad es, entonces, tan solo lo que ella hace o puede hacer. Aunque la idea de que el elemento disposicional es ineliminable, algunas versiones de esta posición son más fuertes que otras. Según las versiones mixtas, como las defendidas por Ellis (2001) y Molnar (2003), no todas las propiedades naturales fundamentales son esencialmente disposicionales. Contrariamente, una versión más fuerte habitualmente conocida como *monismo disposicional*, o simplemente *disposicionalismo*, sostiene que *todas* las propiedades naturales fundamentales son esencialmente disposicionales (e.g. BIRD, 2007; MUMFORD, 2004).

Aunque existe una motivación científica para el disposicionalismo, basada en el carácter radicalmente disposicional de propiedades como el spin y la carga eléctrica (MOLNAR, 1999), los principales argumentos en su favor son anti-quidditistas. En esencia, se señala que el quidditismo implica que hay aspectos del mundo natural que resultan por principio inaccesibles a la investigación empírica, y el compromiso con mundos posibles indistinguibles. Si bien las propuestas disposicionalistas explican la regularidad natural a partir de la postulación de disposiciones o poderes, eso no implica que indefectiblemente se comprometan con la existencia de leyes. En otras palabras, no todo necessitarismo conlleva un realismo respecto de las leyes naturales.

En el flanco realista, el esencialismo disposicional de Bird (2007) sostiene que todas las propiedades naturales tienen una esencia disposicional, en virtud de la cual se “establece ciertas relaciones entre los universales pertinentes, estas relaciones pueden identificarse con las leyes de la naturaleza” (2007, p. 43). De ese modo, la estructura nomológica del mundo depende de las esencias disposicionales de las propiedades naturales. Esta primacía ontológica relativiza el rol de gobierno que las leyes tienen sobre sus instancias en tanto la modalidad tiene asiento exclusivamente en las disposiciones. Por su parte, Demarest (2017, 2019) propone una teoría disposicionalista que combina una ontología de poderes con la intuición central de la TMS. De ese modo, las leyes son los axiomas del sistema deductivo que mejor sistematiza las disposiciones naturales.

Otras formas de disposicionalismo son eliminativistas respecto de las leyes como categoría ontológica. Mumford (2004) denomina a su versión del disposicionalismo *realismo sin leyes*. Su propuesta tiene como propósito no es preciso postular leyes naturales para explicar tanto las regularidades como los vínculos de necesidad que las constituyen. Las leyes son, de hecho, un mal candidato a la hora de articular tal explicación. Las razones que esgrime en favor de ese punto gravitan en torno a lo que da en llamar el *Dilema Central*. En pocas palabras, o bien las leyes son internas a sus instancias, o bien son externas a ellas; pero resulta que tanto si las consideramos internas como externas a sus instancias no es posible dar cuenta de cómo gobiernan los fenómenos que caen bajo su cobertura, por lo que la posibilidad de considerarlas como fundamento de la regularidad quedaría clausurada. Las disposiciones, en cambio, son capaces de ocupar el rol explicativo adjudicado a las leyes, pero siendo inmunes al Dilema Central.

Tanto las posiciones realistas como antirrealistas respecto de las leyes encuadradas dentro del disposicionalismo son objeto de diversas objeciones. Una de ellas le imputa un regreso infinito o circularidad en la determinación de las identidades de las propiedades. Es conocida también como el argumento *always packing never traveling*¹. El siguiente pasaje de Armstrong da cuenta de la naturaleza del problema, como así también de su curioso nombre:

¿Es posible que todo sea potencia, y que el acto sea el simple desplazamiento de potencias? (...) Dada una teoría puramente disposicionalista acerca de las propiedades, los particulares parecen estar siempre haciendo nuevamente sus maletas a medida que cambian sus propiedades, sin embargo, nunca emprenden un viaje de la potencia al acto. Puesto que el “acto”, según este punto de vista, no es más que una potencia diferente (ARMSTRONG, 1997, p. 80).

Este problema tiene en realidad dos aspectos. En primer lugar, la circunstancia de que para que ocurra la manifestación de un poder – i.e. su viaje de potencia a acto –, lo que se requiere es la manifestación de otros poderes, hace que el sistema completo, considerado holísticamente, no resulte de hecho causalmente efectivo, a pesar de su caracterización puramente modal. Es decir, un sistema disposicional no puede dar cuenta globalmente de la efectividad causal. En segundo término, el problema afecta incluso la posibilidad de individuar poderes singulares. La identidad de un poder descansa en aquello para lo cual es potencia. Pero ello no está determinado intrínsecamente, sino solo por sus relaciones con otros poderes. De

¹ Una preocupación en esta línea puede encontrarse también en Chakravartty (2015).

ello resulta no solo una dificultad en cuanto a su pasaje al acto, sino la imposibilidad de que un poder adquiera identidad como tal. La respuesta más usual a este problema sigue la línea argumental de Bird (2007), para quien ni la circularidad ni el regreso al infinito implican la imposibilidad de que los poderes adquieran holísticamente identidad. En pocas palabras, son los mismos patrones que las relaciones mutuas configuran los que permiten dar una identidad completa a cada uno de los “nodos” en los que consisten los poderes (2007, p. 146). Como veremos en breve, dicha estrategia ha sido cuestionada por Lowe (2010).

Una objeción adicional para el disposicionalismo que tiene su origen en el rol de las simetrías y leyes de conservación en la física moderna. La imputación es que hay algunas propiedades estructurales de orden superior cuya naturaleza no parece poder describirse exhaustivamente en términos disposicionales. Ciertas propiedades de los sistemas cuánticos y las propiedades espaciotemporales se cuentan entre las propiedades problemáticas (BERENSTAIN, 2016) pero la discusión se ha centrado recientemente en aquellas relacionadas con conservación de cantidades gobernada por principios de simetría. Este cuestionamiento se inscribe, a su vez, en un debate más amplio acerca de la posibilidad de dar cuenta en términos disposicionales de propiedades estructurales (matemáticas o geométricas).

Concentrémonos entonces en los principios de simetría. Toda simetría continua de un sistema aislado tiene una cantidad asociada que es conservada. A la simetría rotacional del espacio, por ejemplo, corresponde la conservación del momento angular. Estos principios de simetría imponen restricciones sobre las leyes de conservación, se trata, en términos de Lange (2009), de meta-leyes que gobiernan leyes de menor nivel de generalidad. Los principios de simetría, a diferencia de las leyes corrientes, expresan propiedades estructurales, relaciones matemáticas de invariancia. Sin embargo, a diferencia de las leyes de orden inferior, no es posible caracterizarlas en términos puramente disposicionales.

El disposicionalismo, tal como es entendido por Bird (2006, 2007), Cartwright (1983), Mumford (2004), Molnar (2003), y otros, tiene un compromiso fundamental con la necesidad causal inmanente a las propiedades naturales, que juzga anclada a las disposiciones. Se trata, con los matices que ha tomado en las variadas posiciones de sus defensores, de una doctrina de la efectividad: debemos admitir en nuestra ontología solo aquellos aspectos de las entidades que son constitutivos de su *perfil causal*, de aquello que la entidad *hace* o *podría hacer* en las circunstancias indicadas. Esa máxima es la que fundamenta su rotundo rechazo del quidditismo y toda doctrina que lo implique, así como las reservas de algunos de sus defensores para con el

realismo nomológico (i.e. el realismo acerca de leyes de la naturaleza): las leyes parecieran aportar *algo*, un tipo de determinación que no es propio de las disposiciones, que se les impone “desde afuera” (CARTWRIGHT, 1983; MUMFORD, 2004). Si bien esta resistencia a incorporar leyes en la ontología disposicionalista no es unánime – e.g., Bird (2006) suscribe el realismo nomológico y Tugby (2016) procura combinarlo con el disposicionalismo en una particular doctrina –, parece en cambio haber un acuerdo más o menos generalizado respecto de que los principios de simetría no tienen lugar en el cuadro disposicionalista. La razón es que, a diferencia de las leyes ordinarias, las simetrías imponen restricciones que no son inmanentes a las propiedades ni a la forma que éstas se relacionan, son de hecho, restricciones que operan *sobre* dichas relaciones. Y si estas relaciones pueden por algunos ser admitidas como leyes e incorporadas a la ontología del disposicionalismo, los principios de simetría y las invariancias que implican parecen no tener lugar en el contexto de esta doctrina de la efectividad causal. Una alternativa es relegarlos al terreno de lo misterioso. Bird no llega a descartar esa posibilidad:

Puede ser, por supuesto, que simplemente tengamos que aceptar el misterio, junto con otros misterios de la física moderna. No hay ninguna razón por la cual la naturaleza fundamental del universo debe ser siquiera comprensible, y mucho menos intuitiva (2007, pp. 213-14).

Su “solución”, sin embargo, es diferente: afirma que las simetrías son “pseudo-leyes” que, en tanto estructuras de fondo (*background structures*), probablemente serán eliminadas en formulaciones futuras de la física fundamental (2007, p. 213).

1.3 – Teorías de Gobierno

Algunas teorías realistas respecto de las leyes naturales se centran en el rol gobernante que dichas leyes tienen sobre sus instancias. Examinamos a continuación dos de las propuestas más influyentes en tal sentido.

1.3.1 – La teoría DTA

Según las posiciones realistas respecto de las leyes, el regularismo, incluso en su versión más acabada, resulta insuficiente para establecer una distinción entre leyes y generalizaciones accidentales. Lo que se requiere es el compromiso con un tipo especial de entidades que sean el correlato de los enunciados legales, leyes de la naturaleza como parte del mobiliario

metafísico del mundo. Hay varios modos de caracterizar estas leyes metafísicamente reales. Uno de los más discutidos es la teoría defendida por Drestke (1977), Tooley, (1977) y Armstrong (1983) (de aquí en más, DTA). Según esta doctrina, las leyes son un tipo de universal de segundo orden que ejerce un rol gobernante sobre sus instancias. La DTA cumple así lo que Mumford (2004, 67) propone como dos requisitos básicos que una teoría realista acerca de las leyes debe cumplir:

- (a) Las leyes deben ser entendidas como una “adición de ser”.
- (b) Las leyes deben gobernar sus instancias.

La primera implica que cualquiera que decida ser realista acerca de las leyes debe comprometerse con el hecho de que éstas tienen algún tipo de espesor ontológico, debe creer que son cosas en el mundo, una categoría ontológica per se. El segundo supuesto implica que el rol de gobierno sobre sus instancias no solo es una característica constitutiva de las leyes mismas, sino un requisito para la viabilidad de una metafísica que las postule.

Examinemos brevemente la teoría de los universales subyacente a la formulación de la DTA. Según esta pintura metafísica, los particulares instancian universales n-ádicos de primer orden, i.e. propiedades de, o relaciones entre particulares. Un particular instanciando un universal conforma un cierto estado de cosas. Pero resulta que ciertos estados de cosas parecen conducir indefectiblemente a otros, debemos afirmar entonces, si no queremos caer en el regularismo, que algunos estados de cosas hacen necesarios a otros. Por ejemplo, que a sea F hace necesario que a sea G. Si esto sucede es porque los universales F y G están vinculados en una relación tal que el primero hace necesario el segundo, en símbolos: $N(F,G)$. Esa relación ‘N’ constituye un universal de segundo orden que se instancia en dos de orden inmediatamente inferior (F y G); finalmente esta relación de necesidad será para la teoría la única posible entre universales de primer orden. Pero para que efectivamente la ley implique todas sus instancias positivas, es decir, para que se cumpla la implicación que va desde $N(F,G)$ a $(x) (Fx \supset Gx)$, debe darse un paso más. Ese paso consiste en considerar a $N(F,G)$ de manera doble: por una parte – tal que como se ha presentado hasta ahora – como un universal de segundo orden que se instancia en otros de orden inferior, pero por otra, como un universal diádico de primer orden cuyas instancias son pares de estados de cosas que constituyen los casos positivos de la ley (ARMSTRONG, 1983, p. 89). Siendo a un objeto particular que es F y que, dado que

es una ley que $N(F,G)$, es también G , este estado de cosas tiene la forma Rab , donde: $R = N(F,G)$, $a = a$ siendo F , y $b = a$ siendo G , o más claramente:

$(N(F,G))$ (a siendo F , a siendo G)

Esta expresión debe ser leída como “ a siendo F hace necesario a siendo G , en virtud de la relación de necesidad N entre los universales F y G ”, en donde $N(F,G)$ está siendo tomado como un atributo diádico de primer orden, un universal de primer orden, al mismo tiempo que como un atributo 0-ádico de segundo orden, es decir, como un estado de cosas.

Ahora bien, debe notarse que N no es una relación cualquiera entre F y G , sino una relación determinada, la de necesidad nómica. Así es que, si la ley $N(F,G)$ está presente en cada una de sus instancias, es decir, en cada estado de cosas particular en el que a siendo F hace necesario a siendo G , cada una de esas instancias contiene en sí el universal completo. Lo que, de acuerdo a la doble lectura, implica contener tanto la relación N instanciada en cada universal, como la relación N entre F y G instanciada en dos estados de cosas determinados.

A pesar de su densidad metafísica, Armstrong concibe su teoría de las leyes en clave estrictamente naturalista. La base de este compromiso reside en lo que denomina Principio de Instanciación: toda propiedad o relación debe estar instanciada en particulares reales, en decir, no hay propiedades o relaciones no instanciadas. Según Armstrong, suscribir un realismo respecto de los universales se vincula estrechamente con dicho principio y la adopción de una doctrina naturalista:

Una de las principales razones para aceptar el Principio de Instanciación es mi deseo de sostener, junto con el realismo sobre los universales, la doctrina lógicamente independiente del Naturalismo. Defino el Naturalismo como la tesis que afirma que no existe nada más que un único mundo espacio-temporal, el mundo estudiado por la física, la química, la cosmología, etc (ARMSTRONG, 1983, p. 82).

La idea de Armstrong es que las propiedades y relaciones que componen el mundo natural deben ser descubiertas por la ciencia como resultado de la investigación empírica; es solo cuando ganamos un conocimiento positivo de la instanciación efectiva de una propiedad o relación que podemos atribuirle existencia al universal que manifiesta. Esta postura se opone a la posibilidad de fundar la postulación de universales en base a consideraciones semánticas. La teoría de los universales puede ser de gran ayuda a la hora de explicitar el sentido de algunos términos generales, pero eso no significa que la mera mención de un término general sea

suficiente para derivar la existencia del universal correspondiente. Este naturalismo que rige la postulación de universales de primer orden (propiedades y relaciones $n+1$ -adicas) tiene idéntica influencia cuando se trata de poblar la ontología con universales de segundo orden:

¿Hay universales de orden superior? Aquí nuevamente, en este difícil campo de investigación, debemos abstenernos de proceder a priori, esto es, semánticamente. Los universales irreducibles de orden superior deben ser postulados sobre la base de consideraciones *a posteriori* (ARMSTRONG, 1983, p. 84).

Si las leyes constituyen un tipo de relación entre universales de primer orden, en tanto universales de orden superior deben también ser el producto de una inferencia fundada en nuestro acervo de conocimiento empírico. Es por ello que insiste en que “las conexiones nómicas entre universales no pueden establecerse a priori. Hay que descubrirlas a posteriori” (Ibídem).

El naturalismo, sin embargo, no es indispensable en el marco de las teorías de gobierno, ni siquiera dentro de la DTA. De hecho, Tooley (1977) rechaza implícitamente esa doctrina al adoptar una concepción platónica de los universales que admite la posibilidad de que existan leyes no instanciadas.

1.3.2 – Leyes, simetrías y ontología fundamental

French (2014) considera que la imposibilidad de brindar una caracterización disposicional de los principios de simetría es, dada su importancia en la física de partículas, la principal razón para abandonar el disposicionalismo.

[B]ajo la idea de que los principios de simetría y leyes de conservación juegan un papel restrictivo con respecto a las leyes corrientes o estándar, dichas leyes y simetrías presentan un obvio problema para el disposicionalismo. (...) [El disposicionalista] no puede aceptar este tipo de restricciones, ya que sostiene que las leyes sobre las que éstas operan deben su necesidad a las propiedades disposicionales que las fundamentan, por lo tanto, simplemente no hay espacio en su metafísica para más restricciones. (...) Dada la importancia de las simetrías (y leyes de conservación) en la física moderna, esta conclusión podría tomarse como una forma de *reductio* de toda la empresa disposicionalista (FRENCH, 2014, p. 249).

Su propia solución se asienta en su defensa del realismo estructural óptico, una forma de realismo científico que tiene a las puras estructuras como el objeto fundamental de compromiso ontológico (véase Borge (2017); Borge y Soto (2024)). Este realismo toma la forma de lo que denomina *ingeniería inversa del disposicionalismo* (Ídem, p. 231), es decir, la

doctrina de que las leyes y simetrías descritas por la física son, en tanto aspectos de la estructura del mundo, los constituyentes básicos de la realidad (2014, p. 257). Según French, no son estrictamente las propiedades o relaciones las portadoras de modalidad, sino las leyes y simetrías descritas por la física madura. De ese modo, agudiza el compromiso estructuralista: en casi todas las concepciones realistas acerca de las leyes naturales, ellas dependen de algún otro sustrato metafísico (universales, propiedades disposicionales, patrones regulares, etc.), por el contrario, en el marco del realismo estructural óptico de French, son las leyes y simetrías, en tanto “aspectos fundamentales de la estructura del mundo” (Ídem, p. 17), las que tienen primacía ontológica.

Así, las bases de su posición anclan en la “ingeniería inversa” sobre la propuesta disposicionalista. En ese marco, el *locus* de la modalidad son las disposiciones. La estrategia de French consiste, básicamente, en revertir el sentido de las relaciones de fundamentación metafísica postuladas por el disposicionalismo, según el cual tanto la modalidad como la existencia misma de las leyes se fundamentan en las disposiciones:

[...] si lo que hace que una propiedad causal sea la propiedad que es son las relaciones con otras propiedades en las que esta entra, y es la conjunción de las leyes comprendidas por esas relaciones la que especifica las naturalezas de todas las propiedades causales que existen, entonces, leyendo esta cadena de identidades de derecha a izquierda, por así decirlo, y ontológicamente, podemos tomar las leyes (entendidas estructuralmente por supuesto) como fundamentales y los poderes y propiedades como emergentes de las relaciones pertinentes, sin necesidad de disposiciones (FRENCH, 2014, p. 257).

Las disposiciones no son entonces sustancialmente nada, de hecho, en este esquema nada tiene espesor ontológico salvo las leyes y simetrías. Según French, entonces, las estructuras deben ser identificadas con las leyes y simetrías descritas por la física. La modalidad, tal como todo lo demás, se reduce a dichas leyes y simetrías.

2 – EL DESAFÍO DE LAS SIMETRÍAS

French ha capturado un aspecto muy importante. La física moderna ha sido parcialmente construida en base a la noción de ley (representadas por ecuaciones dinámicas). Pero el otro pilar fundamental es la noción de *simetría* o *invariancia*. En rigor, la noción misma de simetría ya está presente en la física galileana mediante el principio de relatividad, pero no es hasta la formulación de la relatividad especial en 1905 por Albert Einstein que el papel de las simetrías

a la hora de construir una teoría física y modelar sistemas físicos se volvió mucho más central. En esencia, la idea de simetría refiere fundamentalmente a ciertas propiedades estructurales que las leyes físicas poseen (representadas en términos de ecuaciones diferenciales dinámicas) frente a diversas transformaciones (como, por ejemplo, rotar el momento angular por una cierta cantidad de grados). Lo interesante es que lo que en la física clásica decimonónica (y anteriormente) era meramente una propiedad estructural de las leyes científicas, en la física del siglo veinte y veintiuno se volvió un concepto no sólo explicativamente fundamental, sino el engranaje principal para desarrollar nuevas teorías físicas, nuevos modelos y hasta guiar la experimentación. Dos ejemplos pueden ser muy ilustrativos.

En la mecánica cuántica no-relativista, el Grupo de Galileo (i.e., el conjunto de transformaciones galileanas que forman un grupo y que son simetrías de la teoría) ha permitido la identificación de operadores abstractos con variables dinámicas medibles. Es decir, son las simetrías del grupo de la teoría la que permitieron dar una interpretación parcial física de la teoría como aparato formal. De esta manera, el hecho que la dinámica elemental de los sistemas físicos (aquella que rige, por ejemplo, la evolución de una partícula libre) sea invariante ante ciertas transformaciones de simetría (como, por ejemplo, la rotación en el espacio, la translación en el tiempo y el espacio, etc.) permitió asignar con fundamento significado físico a la teoría y poder introducir nociones tales como momento, momento angular, energía, entre otros (ver: BALLENTINE, 1998, 3.3-3.4).

Otro ejemplo permite ilustrar la importancia de las simetrías en la guía de la investigación empírica para la física moderna. El descubrimiento del barión omega negativo fue un hito en la historia de la física de partículas. Lo más notable de este hito es que lo que condujo la investigación desde una hipótesis puramente teórica hasta su descubrimiento en febrero de 1964 por físicos experimentales en el Brookhaven AGS fue un razonamiento basado en simetrías. En 1961, en pleno desarrollo de la física moderna de partículas, años de investigación teórica condujeron a lo que se conoce como la simetría SU(3) o la “Eightfold way”. De acuerdo con la simetría SU(3), deben existir cierto tipo específico de relaciones y propiedades para las diferentes partículas. Por ejemplo, que la diferencia de masa entre partículas de los multiplets debían ser iguales. Esto no sólo abrió un camino de investigación teórica para postular nuevas partículas (aquellas que se ajustaran a este principio), sino también guió la experimentación física en la búsqueda de tales partículas. De esta manera, en 1962 Gell Mann (físico teórico pionero en la física de partículas) predijo la masa de una partícula aún no

observada en base a la simetría $SU(3)$. Como se mencionó anteriormente, dos años después físicos experimentales corroboraron la hipótesis de Gell Mann al observar el barión omega negativo.

Hay pocas dudas hoy en día de la importancia y relevancia de las simetrías en física, en algunos casos estructurando y determinando a las leyes físicas. Sin embargo, no es hasta hace unas pocas décadas atrás que los filósofos comenzaron a prestar más atención a la naturaleza explicativa, metodológica, heurística y metafísica de las simetrías. ¿Por qué funcionan tan bien? ¿Por qué son explicativamente tan poderosas? ¿Hay una “lógica intrínseca” en el mundo escrita en base a simetrías? ¿Son las simetrías instrumentos meramente representacionales o estructuras (o entidades) del mundo físico? Los intereses han sido múltiples, pero aquí nos focalizamos en los aspectos más metafísicos del debate (ver: BRADING y CASTELLANI, 2003). La idea central para esta parte no es sólo mostrar el vasto terreno para discusiones filosóficamente fructíferas en este ámbito, sino también estructurar un poco la discusión, las diferentes visiones y alternativas. En particular, resulta muy interesante señalar cómo los metafísicos de las ciencias han hecho uso de las simetrías en física en sus argumentos para dilucidar la estructura de la realidad fundamental (ver: NORTH, 2008, 2021; BAKER, 2010; DASGUPTA, 2016).

2.1 – ¿Qué son las simetrías y cuál es el Problema Metafísico?

Hablar de simetrías, en general, es ciertamente impreciso. Existen muchísimos tipos de simetrías en física, con diferente importancia y consecuencias teóricas. Es común distinguir entre simetrías externas e internas, locales y globales, teórico y observaciones, geométricas y dinámicas, espacio-temporales y no-espacio-temporales, discretas y continuas, etc. A pesar de esta variedad, las simetrías son en primer lugar un concepto puramente formal: se definen y se evidencian en la estructura matemático-formal de las teorías físicas. En concreto, las simetrías se definen en términos de su *transformación de simetría*, que no es más que un objeto matemático que actúa sobre operadores, parámetros independientes y estados que no aparecen de manera aislada, sino relacionados funcionalmente en lo que comúnmente se llaman ecuaciones dinámicas (que, en general, tienen forma diferencial). De esta manera, una transformación de simetría revela propiedades estructurales de las ecuaciones dinámicas ante cambios en los operadores, parámetros independientes y estados que las ecuaciones dinámicas contienen.

Propiamente, son las ecuaciones dinámicas las que resultan o no simétricas ante transformaciones de simetría (o permanecen *invariantes* ante transformaciones). Esencialmente, esto significa que la ecuación dinámica preserva sus relaciones funcionales a pesar de transformar algunos o varios de sus elementos. En palabras sencillas, esto permite saber si una ecuación dinámica es también válida al, por ejemplo, rotar un sistema físico en el espacio o al moverlo a otro punto del espacio. Si la ecuación dinámica es invariante ante, por ejemplo, traslación espacial, esto significa que la ecuación dinámica es igualmente válida ante el cambio de la posición inicial de un sistema físico. Este razonamiento es muy útil porque permite saber, en función de la estructura formal de la ecuación dinámica, el conjunto de sus posibles soluciones ante el cambio de sus variables. Por ello, muchas veces se suele decir que una simetría es una transformación que preserva el espacio de soluciones de una teoría, al transformar soluciones en soluciones.

Este significado de simetría es puramente formal. No toda transformación de simetría es físicamente relevante y muchas son meramente una curiosidad matemática (ver: BELOT, 2013). Entre las simetrías físicamente importantes podemos contar las simetrías *espacio-temporales* (como, por ejemplo, las simetrías del Grupo de Galileo o el Grupo de Poincaré), las simetrías locales de tipo gauge (como la simetría $U(1)$ en electromagnetismo clásico), y las simetrías de permutación (que permite entender la estadística de bosones y fermiones en mecánica cuántica). Y si bien estas simetrías ya incorporan algún contenido físico más concreto, aún no son totalmente claras sus últimas consecuencias conceptuales. ¿Qué significa que una ecuación dinámica es, por ejemplo, invariante ante rotación espacial? Formalmente, significa que la rotación espacial conserva el espacio de soluciones de la ecuación dinámica (un sistema físico rotado, digamos, 90° grados puede ser descrito por la misma ecuación dinámica). Sin embargo, esto es insuficiente para extraer alguna conclusión metafísica interesante. Por este motivo, filósofos en los últimos años han constreñido aún más el contenido conceptual de la noción de simetría.

Jennan Ismael y Bas van Fraassen (2003) y Shamik Dasgupta (2016) han, por ejemplo, asociado la noción de simetría con la de *observabilidad*: una simetría conserva lo que es observable, de manera tal que el comportamiento dinámico de los sistemas físicos “luciría” igual a pesar de sufrir alguna transformación de simetría. Argumentativamente, esta idea es muy poderosa: si alguna transformación deja un sistema invariante (i.e., la ecuación dinámica que describe su comportamiento es simétrica ante la transformación), significa que no debiera

existir ninguna diferencia *observable* ante la transformación en el sistema en cuestión, lo cual permitiría decir que aquella propiedad (o propiedades) invariante(s) tienen algún tipo de estatus ontológico privilegiado. O, en otras palabras y por la conversa, aquella propiedad variante que no genere ningún cambio observable en el comportamiento de un sistema físico ante su transformación tiene un estatus ontológico menos privilegiado que las invariantes (o, incluso, que es irreal). En más detalle, el mecanismo inferencial (que se lo suele denominar “the symmetry-to-reality inference” (ver: KOSSO, 2000; DASGUPTA, 2016) sería el siguiente:

1. El conjunto de leyes L gobierna nuestro mundo de acuerdo con la teoría física T .
 2. La propiedad X es variante en L y en el marco de T
 3. En virtud de 2, la propiedad X es no-observable
 4. Es un vicio epistémico otorgar realidad a una propiedad variante y no observable como X .
- C. Por lo tanto, X no es real de acuerdo con T .

Esta es simplemente la estructura del argumento y hay, en principio, muchos aspectos que pueden cambiarse. Por ejemplo, podría argumentarse que el mecanismo inferencial no puede ser acerca de lo que es real o irreal, sino acerca de lo que es fundamental o no (LOPEZ, 2023a). También podría decir que una simetría no es en realidad acerca de lo que es observable, sino acerca de lo que es objetivo (NOZICK, 2001), acerca de lo que es modalmente equivalente (SAUNDERS, 2003; HEALEY, 2009), o acerca de lo que es teóricamente superfluo o redundante (REDHEAD, 1975; EARMAN, 1989; DEWAR, 2019). Podríamos llamar a este debate, el cual gira fundamentalmente en torno a la P3 en el argumento, el problema de interpretar filosófica y conceptualmente la noción de simetría.

Hay un problema más general que concierne al *estatus metafísico* de las simetrías per se. Steven French (2014) lo llama “el problema de acomodar las simetrías” en la ontología. La premisa básica y compartida es clara: la física moderna “nos presenta” simetrías. Físicos y filósofos utilizan simetrías en muchos de sus razonamientos. Estos razonamientos han sido teórica y experimentalmente muy exitosos, ¿por qué? Las simetrías, ¿refieren a algún tipo de estructura o entidad externa en el mundo? ¿O es un poderoso instrumento heurístico, explicativo y predictivo? ¿*Qué son* las simetrías? Así como el éxito teórico y experimental de introducir ecuaciones dinámicas en una teoría como una representación formal de potenciales leyes naturales abre un campo de exploración filosófica y metafísica muy rica, un razonamiento análogo se abre con la presencia de simetrías en las teorías físicas: ¿qué lugar ocupan las simetrías en la ontología del mundo físico?

Como primer paso, uno podría dividir las respuestas a esta pregunta en dos campos. Por un lado, aquellos que creen que las simetrías son reales e independientes de los sujetos que formulan las teorías científicas; por otro lado, aquellos que creen que las simetrías tienen un papel fundamentalmente epistémico en optimizar el poder explicativo y predictivo de las teorías físicas (ver, por ejemplo: BRADING y CASTELLANI, 2007; LIVANIOS, 2010). Este primer intento de dividir las diferentes potenciales posiciones recupera con bastante fidelidad la distinción entre *realismo* e *instrumentalismo*, común y transversal a la filosofía de la ciencia. Sin embargo, muchas sutilezas escapan de esta división. Por ejemplo, cuando se afirma que las simetrías son epistémicas, ¿se quiere decir que son meramente convencionales? ¿Es posible formular teorías físicas exitosas *sin* simetrías? Cuando se afirma que las simetrías son reales, ¿se quiere decir que son reales y supervienen sobre (o se reducen a) estructuras más básicas? ¿O se quiere decir que son fundamentales? En lo que sigue, ofrecemos un panorama un poco más fino y sistemático de las diferentes posiciones metafísicas que pueden asumirse respecto de las simetrías. Todas ellas son, de una manera u otra, respuestas al problema de cómo acomodar las simetrías en la ontología del mundo físico.

2.2 – El estatus metafísico de las Simetrías, un panorama

Una posición muy usual entre físicos es asumir no sólo que las simetrías son reales (en el sentido de representar estructuras externas del mundo físico), sino que también son *fundamentales*. Físicos de gran renombre como Steven Weinberg (1987, 1993), Abdus Salam (1989), Richard Feynman (1987) y Werner Heisenberg (1975) creyeron que las simetrías representan aspectos fundamentales de la realidad física, como si rigiesen una especie de “lógica” interna que no sólo dicta qué leyes naturales existen, sino también qué tipo de entidades y propiedades hay. Weinberg y Feynman, por ejemplo, afirman que “symmetries are fundamental, and possibly all that one needs to learn about the physical world beyond quantum mechanics itself” (WEINBERG y FEYNMAN, 1987, p. 79). Algunos filósofos también adoptaron un punto de vista similar. En el marco del REO, Steven French afirma que las simetrías y las leyes físicas son características de la estructura modal del mundo, incluso más fundamentales que los objetos físicos (FRENCH, 2014, p. IX). David Schroeren (2020, 2021), en el marco del Realismo de Espacio de Estados, dice que las simetrías son entidades físicas fundamentales, los ladrillos básicos que construyen el resto de la realidad (campos, partículas,

objetos macroscópicos, etc. (para una crítica a este enfoque, ver: MARTIN, 2002; LOPEZ, 2024).

Una forma de argumentar en favor de considerar a las simetrías como ontológicamente fundamentales es mediante la *indispensabilidad* de las simetrías o algún argumento del nomilagro. En esencia, el éxito empírico de las teorías físicas que postulan simetrías (o su indispensabilidad para formular, por ejemplo, la dinámica de tales teorías) es un argumento abductivo a favor de asumir un compromiso ontológico con ellas. Este tipo de argumentos acomoda a las simetrías en la ontología al forzarnos a formar un compromiso ontológico hacia ellas. Sin embargo, esto no es suficiente para defender su fundamentalidad. Un argumento plausible (ver: MCKEZNIE, 2019) es decir que las simetrías no simplemente “aparecen” en las teorías físicas, sino que juegan un papel estructurador (por ejemplo, están a la base del desarrollo de la cinemática y la dinámica de una teoría). Esta fundamentalidad teórica, entonces, podría interpretarse como una clase de fundamentalidad ontológica mediante una relación de dependencia. Así como la dinámica de una teoría física parece depender de sus simetrías, las leyes naturales (o las interacciones posibles en la naturaleza) dependerían *ontológicamente* de las simetrías.

Si bien ontológicamente importantes, otros filósofos han considerado que las simetrías no son parte de la ontología fundamental, sino herramientas o guías heurísticas hacia la ontología fundamental. El éxito científico de las simetrías, en el marco de un realismo científico fuerte, radica en su indispensabilidad a la hora de descubrir cuáles son las estructuras fundamentales del mundo físico. Jill North (2021) dice,

Sin embargo, hay una razón para formular las cosas en términos de estructura y no de simetrías. La estructura es lo que buscamos en última instancia (tanto la estructura matemática en el formalismo como la estructura física en el mundo), y las simetrías son simplemente una guía (importante) de esa estructura. Como se mencionó en el capítulo 2, las simetrías son un indicador de la estructura, no la estructura en sí. Y lo que es más importante, puede haber más en la estructura requerida que lo que parecen indicar las simetrías dinámicas (2021, p. 73).

Este enfoque *inferencialista* respecto de las simetrías ha sido implícitamente aplicado en varias instancias, y está claramente a la base de los supuestos de cualquier argumento filosófico que toma las simetrías de una teoría como premisa para una conclusión metafísica. Por ejemplo, la nominalización de la mecánica cuántica no relativista de Eddy K. Chen (2019) deriva su Realismo del Estado Cuántico a partir de las simetrías de la mecánica cuántica. Paul

Horwich, por tomar otro caso, concluye que no existe una dirección fundamental del tiempo *porque* las ecuaciones fundamentales de la mayoría de las teorías físicas son invariantes (i.e., simétricas) ante inversión temporal (HORWICH, 1987, p. 41). Finalmente, las simetrías de permutación en mecánica cuántica han sido utilizadas como premisa para concluir que la teoría no puede acomodar metafísicamente el concepto de individuos (POST, 1963). De esta manera, las simetrías en una teoría física son esenciales para conocer los fundamentos de la realidad física (para una crítica a este enfoque, ver: HICKS, 2019; LOPEZ, 2023a; LOPEZ y ESFELD, 2023).

En la filosofía de la física y la metafísica de la ciencia, la posición fundamentalista o inferencialista está muy expandida. En buena medida, su fuerza se deriva del gran avance teórico y empírico de la física moderna al introducir simetrías en la arquitectura misma del desarrollo de las teorías. No obstante, existen enfoques que no comparten esta conclusión. Por ejemplo, Christopher Martin (2002) argumenta que sería un error concluir que la introducción de simetrías es la responsable del éxito teórico y empírico de las teorías físicas, ya que hay otros elementos que juegan un papel similar o incluso mayor que no consideraríamos como reales ni mucho menos fundamentales. Un ejemplo son las técnicas de renormalización en electrodinámica cuántica, las cuales son consideradas una metodología esencial para desarrollar la teoría, pero claramente pragmática y que, eventualmente, podría eliminarse cuando una teoría superadora pueda formularse. De acuerdo con Martin, un razonamiento análogo puede aplicarse a las simetrías.

Una posición más radical es optar por un enfoque más *pragmatista-convencionalista* de las simetrías: su postulación es simplemente un fenómeno observador en una determinada comunidad (e.g., la de físicos de partículas) que no depende del mundo externo, sino de las prácticas epistémicas y discursivas de la comunidad. Las simetrías, en consecuencia, serían convenciones que una comunidad específica ha establecido en cierto momento y lugar para formular teorías científicas y modelos. Es importante aclarar dos cosas. Por un lado, esto no implica arbitrariedad, sino un aspecto pragmático. Por otro lado, esta posición sí implica que las simetrías son dispensables y podrían reemplazarse, eventualmente, por alguna otra práctica. Christopher Martin (2002, 2003), Alexandre Guay (para, al menos, las teorías Yang-Mills (2004, 2008)), y Sabine Hossenfelder (2018) (donde las simetrías son consideradas valores estéticos) han defendido alguna forma de convencionalismo sobre simetrías.

Vale la pena detenernos para resumir lo dicho hasta acá. Mientras que algunos científicos y filósofos han argumentado que las simetrías son estructuras (o incluso entidades) fundamentales de la ontología del mundo físico, otros han argumentado que son meras convenciones (o incluso aspectos estéticos de las teorías). Claramente, hay gradaciones en todas estas posiciones que, de una u otra manera, recuperan la clásica distinción entre realismo y antirrealismo con algunas diferencias. En la discusión metafísica, se ha hecho hincapié en la fundamentalidad de las simetrías y no tanto en su mera realidad o referencialidad. O, en casos de un realismo más diluido, no ha sido su referencialidad la que ha estado en juego sino su instrumentalización para deducir cuáles son las estructuras fundamentales. En la discusión más teórica, se han resaltado sus aspectos pragmático-heurísticos en relación con otras herramientas teóricas que parecieran jugar un papel muy similar al de las simetrías, disminuyendo su relevancia metafísica y resaltando su dispensabilidad. Parecería haber aspectos valiosos y atendibles en ambos enfoques, lo cual podría abrir una tercera alternativa. Las simetrías son indispensables y estructurantes en la construcción de las teorías físicas, aunque no forman parte de la ontología ni son guías para la ontología. De diversas maneras, esta postura ha sido defendida por filósofos de raigambre neo-kantiana o humeana.

Kerry McKenzie (2014) distingue entre ser fundamental ontológicamente y metodológica-teóricamente. Algunos elementos teóricos parecen hacer justicia a esta distinción. Por ejemplo, los cuerpos rígidos resultan esenciales y fundamentales en la mecánica clásica. Sin embargo, pocos se atreverían a afirmar que esto justifique su fundamentalidad ontológica. Esto permitiría articular una alternativa en la cual las simetrías sean teórico-metodológicamente fundamentales (o indispensables), pero no ontológicamente relevantes. Esta alternativa recupera la importancia de las simetrías, pero las justifica en base a motivos epistémicos o normativos, en lugar de ontológicos.

Una manera de desarrollar esta alternativa es entender a las simetrías como meta-leyes dentro del enfoque de los mejores sistemas (RAMSEY 1978 [1928]; LEWIS 1986; COHEN y CALLENDER, 2009; HICKS, 2019). David Lewis dice: “the best system is one that strikes as good a balance as truth will allow between simplicity and strength (...) A regularity is a law if it is a theorem of the best system” (LEWIS, 1994, p. 478). Las simetrías entran en el mejor sistema para simplificar y unificar leyes dentro del mejor sistema para optimizar e incrementar la fuerza explicativa de todo el sistema teórico. Este enfoque más *epistémico* respecto de las simetrías resalta todos los aspectos que hacen que el mejor sistema realmente sea *el mejor*

sistema. En este sentido, ellas resultan fundamentales e indispensables para constituir un sistema de conocimiento simple y explicativamente poderoso. Pero es también claro que las simetrías no necesariamente nos conducen a describir aspectos de la ontología, al menos no directamente.

Este enfoque epistémico resulta muy razonable cuando se evalúa el papel simplificador de las simetrías en física. En esencia, el papel más importante de las simetrías es la de imponer cierta forma (o estructura) a las leyes de manera tal que puedan explicar más fenómenos (o diferentes situaciones contrafácticas) con los mismos recursos. Por poner un ejemplo fácil, uno podría formular una ley para describir la evolución de un sistema físico en función de su dirección en el espacio. Así, por ejemplo, uno podría formular una ley dinámica si el sistema evoluciona hacia el Norte y una diferente si evoluciona hacia el Sur, incluso si no hay diferencias físicas sustanciales. Al imponer una forma simétrica a la ley (que sea invariante ante rotación espacial), es posible formular una ley válida sin importar la dirección del espacio. En consecuencia, la simplicidad adquiere un significado muy preciso: una ley puede explicar lo mismo que, por ejemplo, cuatro. A fortiori, las simetrías simplifican el conjunto del sistema de conocimiento al reducir el número de los axiomas y teoremas necesarios para explicar (para una aplicación concreta de este enfoque, ver: LOPEZ y ESFELD, 2023).

Otra alternativa hace hincapié en la faceta *normativa* de las simetrías. Este ha sido el camino filosófico que han seguido muchos científicos y filósofos durante los 40s y los 50, con fuerte influencia neo-kantiana. Por ejemplo, David Hilbert (1921), Eugene Wigner (1949, 1963), Hermann Weyl (1952) y Ernst Cassirer (1923 [1910], 1954 [1936]) han resaltado el papel de las simetrías como elementos normativos que *hacen posible* el conocimiento físico. Las simetrías, entonces, se convierten en normas a priori que constituyen una suerte de condiciones trascendentales de la objetividad física. Un ejemplo claro es la formulación de leyes que sólo pueden ser posibles si existen simetrías como precondition. Wigner, por ejemplo, argumenta,

¿cómo podemos asegurar que conocemos todas las leyes de la naturaleza relevantes para un conjunto de fenómenos? De no ser así, determinaríamos innecesariamente muchas condiciones iniciales para especificar el comportamiento de un objeto. Una manera de comprobarlo sería probar que *todas las condiciones iniciales pueden elegirse arbitrariamente* (1963, p. 8 – *La cursiva es mía*).

Cuando Wigner dice que las condiciones iniciales puedan elegirse arbitrariamente está simplemente afirmando que las leyes sean invariantes ante la elección de condiciones iniciales,

es decir, simétricas ante traslación espacial, temporal, etc. Para Wigner, las leyes simplemente codifican y explican regularidades. Pero para ello, necesitan meta-principios ordenadores que sean pre-condiciones de objetividad para que las leyes sean pasibles de ser formuladas. Wigner, en esta línea, dice que “it may be argued that laws of nature could not have been recognized if they did not satisfy some elementary invariance principles” (1963, p. 10). Y más adelante: “a law of nature can be accepted as valid only if the correlations which it postulates are consistent with the accepted invariance principles” (Ídem, p. 12).

Esta posición *normativista* respecto de las simetrías no es exclusiva de Wigner. También puede hallarse en los trabajos de Hilbert y Cassirer (ver: RYCKYMAN, 2008 – para un análisis pormenorizado). En un claro marco neo-kantiano, Hilbert argumenta que principios generales de invariancia (como el principio de relatividad) funcionan como “ideales regulativos” para alcanzar una objetividad más pura a la hora de conocer los sistemas físicos. En sus términos, las simetrías buscan una emancipación de los aspectos antropomórficos en física la cual “is the high-point of scientific objectification (...) and leads us to that kind of description of nature which is independent of our senses and intuitions and is directed purely to the goals of objectivity and systematic unity” (HILBERT, 1995 [1921], p. 284).

Este enfoque recupera bastante bien un aspecto importante de las simetrías en física que es más difícil de capturar con otros. En muchos casos, las simetrías son *postuladas* para dictaminar la estructura y forma específica de la dinámica (ver: LOPEZ, 2021, 2023b). Michael Redhead (1975), en esta línea, ha dicho que muchas simetrías son a priori, en el sentido de ser independientes de la experiencia, pero parte relevante en nuestro conocimiento de la experiencia. Hay dos ejemplos que ilustran este enfoque. El primero se relaciona con las simetrías espacio-temporales. John Earman postuló dos criterios normativos para la formulación de teorías: toda simetría dinámica de una teoría debe ser una simetría espacio-temporal; y toda simetría espacio-temporal debe ser una simetría dinámica de la teoría (EARMAN, 1989, p. 46). Una forma de interpretar a Earman es pensar que las simetrías comandan y regulan cómo formular teorías físicas sin redundancias ni estructura superflua. En este sentido, se las puede considerar normativa. Físicamente, esto es intuitivo: la estructura dinámica de una teoría (básicamente, sus leyes) debe en general ajustarse a la estructura espacio-temporal subyacente, lo cual incluye sus simetrías. Esta estructura espacio-temporal es usualmente postulada e impuesta a priori (ver, por ejemplo: DÜRR y TEUFEL, 2009, p. 47; HETZRONI, 2021).

El segundo ejemplo se relaciona con las simetrías locales de gauge en electrodinámica cuántica, $U(1)$. Las transformaciones de gauge son transformaciones unitarias que inducen un cambio en la fase de los estados (expresados en la base de posición). Mientras que transformaciones de gauge globales no dependen de la coordenada espacial, las simetrías de gauge locales sí lo hacen. Por motivos teóricos y técnicos que exceden el punto que queremos hacer, el imponer que la electrodinámica cuántica sea simetría ante transformaciones de gauge locales permite desligar la explicación física de la base de representación, alcanzando un grado mayor de objetividad general. En otras palabras, la simetría $U(1)$ cumple un papel fundamentalmente normativo al extender la objetividad de la electrodinámica cuántica al desligar la explicación de una base de representación (es decir, de una decisión subjetiva de cómo representar una situación física (ver: HETZRONI, 2021 – para más detalles).

En resumen, enfoques más epistémicos o normativos permiten conjugar dos aspectos de las simetrías que son más difíciles de capturar mediante posiciones más realistas-fundamentalistas o convencionalistas. En primer lugar, resaltan la importancia teórica de las simetrías y su indispensabilidad a la hora de formular teorías físicas (al menos, de acuerdo con la física moderna). Resaltan su papel en la sistematización de leyes o en su propia objetividad, lo cual parece tener cierto respaldo en cómo la física procede. En segundo lugar, hace hincapié en su desempeño en tanto recurso representativo, haciendo justicia a la variedad de simetrías (algunas incompatibles entre sí) que pueden encontrarse en la física moderna. Si alguna forma de realismo es correcta, entonces algunas simetrías simplemente no existen porque no son compatibles con otras. Posiciones más convencionalistas pueden lidiar con esta situación, pero a riesgo de sacrificar la relevancia e indispensabilidad de las simetrías. Enfoques epistémicos o normativos, por el contrario, parecen conjugar lo mejor de ambos mundos: conservar su evidente importancia, sin sacrificar un enorme conjunto de simetrías a la inexistencia.

CONCLUSIÓN: LEYES, SIMETRÍAS Y METAFÍSICA

En la sección previa, presentamos una clasificación tentativa de las simetrías en física que busca ir un paso más allá de la división entre realismo y antirrealismo. Sin embargo, una ontología del mundo físico tiene que verse como un todo. De hecho, entidades, relaciones, propiedades y estructuras de una ontología suelen estar relacionados entre sí. Por ejemplo, no resulta natural adoptar una ontología generalista (DASGUPTA, 2009) y a la par aceptar una

posición nominalista respecto de las propiedades. En otras palabras, ciertos compromisos ontológicos respecto de ciertos conceptos encajan más naturalmente con ciertos compromisos ontológicos respecto de otros conceptos que con otros. En la Sección X, exploramos diferentes posiciones respecto de las leyes científicas. En la Sección X, hicimos algo similar respecto de las simetrías. ¿Hay independencia entre las diferentes posiciones? ¿Es posible encontrar relaciones más naturales entre unas y otras? ¿Adoptar una posición metafísica respecto de las leyes excluye alguna posición respecto de las leyes? Nuestra posición es que, en efecto, sí hay relaciones más naturales que otras. Si bien un análisis pormenorizado de estas preguntas requiere un trabajo más profundo y extenso, en este apartado final daremos algunas líneas para explorar en el futuro.

Como vimos en la primera sección, el regularismo humeano sostiene que el mundo está constituido por el mosaico humeano (estados de cosas discretos y locales sin relaciones de necesidad). Las leyes humeanas se entienden como regularidades del mosaico (supervienen sobre el mosaico) y, generalmente, en el marco de la teoría de los mejores sistemas. En la segunda sección, vimos que las simetrías suelen entenderse, primariamente, como propiedades de las leyes (i.e., propiedades de las ecuaciones dinámicas de una teoría física). ¿Cómo entender, entonces, la relación entre humeanismo y simetrías? Una asociación natural es entender las simetrías en términos puramente epistémicos: meta-leyes que también supervienen sobre el mosaico humeano, pero que cumplen un papel fundamental en optimizar el mejor sistema. De esta manera, resultaría poco natural adoptar un realismo fuerte respecto de las simetrías ya que no serían partes del mosaico humeano, al menos no sin un argumento adicional. En el caso del disposicionalismo, más opciones podrían abrirse. Para los disposicionalistas, la existencia de simetrías es un problema ya que podría crear casos de sobre-determinación o dualismo. Alexander Bird (2007), en virtud de estos problemas, ha argumentado que las simetrías son recursos teóricos dispensables y que la física futura bien podría eliminarlas. En esta línea, disposicionalistas como Bird podrían adoptar alguna forma de convencionalismo o pragmatismo respecto de las simetrías, pero no una posición más realista-fundamentalista o inferencialista. Sin embargo, esta no es la única opción. Una posición epistémica respecto de las simetrías también sería compatible con el disposicionalismo.

Finalmente, una visión más robusta de las leyes, como el realismo estructural óptico, podría adoptar una posición más fundamentalista respecto de las simetrías (como ha hecho Steven French). Si las leyes representan estructuras modales fundamentales del mundo, y las

simetrías son propiedades de las leyes, resulta muy natural entender que las simetrías también son fundamentales. Visiones realistas más generales también podrían adoptar un enfoque inferencialista, donde las simetrías son guías para la ontología: las simetrías permitirían encontrar cuales son aquellas relaciones modales en el mundo que encarnan genuinas leyes naturales. Enfoques más epistémicos, normativos o convencionalistas serían menos naturales, ya que la relación entre ley y simetría es teóricamente muy fuerte.

REFERENCIAS

ARMSTRONG, D. M. *What is a Law of Nature?* Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

_____. *A world of states of affairs*. Cambridge University Press, 1997.

BAKER, D. “Symmetry and the metaphysics of physics”. *Philosophy Compass*, 5/12: 1157-1166, 2010.

BELLOT, G. “Symmetry and equivalence”. En R. Batterman (ed.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Physics*. Oxford: Oxford University Press, 2013.

BERENSTAIN, N. What a structuralist theory of properties could not be. In A. Marmorodoro & D. Yates (Eds.), *The metaphysics of relations*. Oxford: Oxford University Press, 2016.

BIRD, A. ‘Looking for Laws’, symposium review by B. Ellis, A. Bird, and S. Psillos, with a reply by Stephen Mumford, *Metascience* 15: 437–69, 2006.

_____. *Nature's metaphysics: Laws and properties*. Oxford: Oxford University Press on Demand, 2007.

BOUCHER, Sandy. “Functionalism and structuralism as philosophical stances: van Fraassen meets the philosophy of biology”. En *Biology & Philosophy* 30, 2014a, pp. 383-403.

_____. What is a philosophical stance? Paradigms, policies and perspectives. *Synthese* 191(10): 2315-2332, 2014b.

BORGE, B. “Realismo Estructural Óptico y estructuras físicas”. *Manuscrito – Revista Internacional de Filosofía* 40(2):71-97, 2017.

_____. “Realismo científico y leyes de la naturaleza. De la Filosofía General de la Ciencia a la Metafísica de la Ciencia”. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 20(40), 2020, pp. 11-20.

BORGE B.; SOTO C. *Ensayos sobre realismo y estructuralismo científico*. Granada: Comares, 2024.

BRADING, K. and Brown, H. R. “Symmetries and Noether’s Theorems”. *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*. Eds. K. Brading and E. Castellani. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, pp. 89-109.

BRADING, K. and E. Castellani. “Symmetries and Invariances in Classical Physics”. En J. Butterfield and J. Earman (eds.), *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Physics, Part B*. The Netherlands: Elsevier, 2007, 1331–1367.

CHAKRAVARTTY, A. Stance relativism: Empiricism versus metaphysics. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 35(1), 2004, pp. 173-184.

_____. Particles, causation, and the metaphysics of structure. *Synthese*, 17, 2015.

_____. *Scientific ontology: Integrating Naturalized Metaphysics and Voluntarist Epistemology*. New York: Oxford University Press, 2017.

CARTWRIGHT, N. *How the laws of physics lie*. Oxford: Oxford University Press, 1983.

CASTELLANI, E. Symmetry, quantum mechanics, and beyond. *Foundations of Science*, 7(1-2), 2002, pp. 181-196.

BROWN, J. R. *Smoke and Mirrors: How Science Reflects Reality*, London and New York: Routledge, 1994.

DASGUPTA, S. “Individuals: an essay in revisionary metaphysics”. *Philosophical Studies*, 145: 35-67, 2009.

_____. “Symmetry as an epistemic notion (twice over)”. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 67, 3: 837-878, 2015.

DEMAREST, H. “Mentaculus Laws and Metaphysics”. En: B. Borge y R. Cani *Laws of Nature: Metaphysics and Epistemology*, Special Issue of *Principia: an international journal of epistemology*, 2019.

_____. Powerful Properties, Powerless Laws, in J. Jacobs (ed.), *Putting Powers to Work: Causal Powers in Contemporary Metaphysics*, Oxford: Oxford University Press, 2017, pp. 38–56.

DRETSKE, F. “Laws of nature”, *Philosophy of Science*, vol. 44, núm. 1, 1977, pp. 248-268.

EARMAN, J. *World Enough and Space-time*. Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

ELLIS, B. *Scientific Essentialism*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

FRENCH, S. *The structure of the world: Metaphysics and representation*. Oxford: Oxford University Press, 2014.

_____. Between Factualism and Substantialism: Structuralism as a Third Way. *International Journal of Philosophical Studies*, 26(5), 701-721, 2018.

GÖHNER, J. F.; SCHRENK, M. *Metaphysics of Science*, [Online], 2022. Disponible en: <<https://iep.utm.edu/>> [Nov.. 2022].

HETZRONI, G. “Gauge and Ghosts”. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 72 (3): 773-796, 2021.

HICKS, M. “What everyone should say about symmetries (and how Humeans get to say it)”. *Philosophy of Science*, 86: 1284-1294, 2019.

ISMAEL, J.; VAN FRAASSEN, B. “Symmetry as a Guide to Superfluous Theoretical Structure”. En K. Brading and E. Castellani (eds), *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003, pp. 371–392.

KOSSO, P. The empirical status of symmetries in physics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 51(1), 81-98, 2000.

LADYMAN, J.; ROSS, D.. *Everything must go*. Oxford: Oxford University Press, 2007.

LADYMAN, J. Science, metaphysics and method. *Philosophical Studies*, 160(1), 31-51, 2012.

LANGE, M. Laws and meta-laws of nature: Conservation laws and symmetries. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 38(3), 457-481, 2007.

_____. *Laws and lawmakers: Science, metaphysics, and the laws of nature*. Oxford: Oxford University Press, 2009.

LEWIS, D. *Counterfactuals*. Cambridge: Harvard University Press, 1973.

_____. "New Work for a Theory of Universals," *Australasian Journal of Philosophy*, 61: 343–377, 1983.

_____. *Philosophical Papers, Volume II*, New York: Oxford University Press, 1986.

_____. "Humean Supervenience Debugged". *Mind*, 103: 473–390, 1994.

_____. "Ramseyan Humility". In D. B. Mitchell & R. Nola (eds.), *Conceptual Analysis and Philosophical Naturalism*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 2009, 203–222.

LIVANIOS, V. Symmetries, dispositions and essences. *Philosophical Studies*, 148(2), 295-305, 2010.

LOEWER, B. "Humean Supervenience," *Philosophical Topics*, 24: 101–126, 1996.

_____. "Humean laws and explanation". En: B. Borge y R. Cani *Laws of Nature: Metaphysics and Epistemology*, Special Issue of *Principia: an international journal of epistemology*, 2019.

LOPEZ, C. "The physics and philosophy of time reversal in standard quantum mechanics". *Synthese*, 199: 14267-14292, 2021.

LOPEZ, C. y Esfeld, M. "Humean Time Reversal Symmetry". *Synthese*, 202: 31, 2023.

LOPEZ, C. "Should symmetries guide metaphysics? Two reasons why they should not". *Europe Journal for Philosophy of Science*, 13: 23, 2023a.

_____. "Symmetry deflationism, a prospect". *Philosophy of Science*, forthcoming, 2023b.

_____. "Against symmetry fundamentalism", *Erkenntnis*, forthcoming, 2024.

LOWE, E.J. "On the Individuation of Powers", in A. Marmodoro (ed.), *The Metaphysics of Powers: Their Grounding and Their Manifestations*, New York: Routledge, 2010, pp. 8-26.

MAUDLIN, T. *The Metaphysics within Physics*. New York: Oxford University Press, 2007.

MOLNAR, G. ‘Are Dispositions Reducible?’, *The Philosophical Quarterly* 49: 1–17, 1999.

_____. *Powers: A study in metaphysics*. Oxford: University Press on Demand, 2003.

MUMFORD, S. *Laws in Nature*, London: Routledge, 2004.

_____. *Laws in nature*. Cambridge: Routledge, 2004.

NORTH, J. “Two views on time reversal”. *Philosophy of Science*, 75: 201-223, 2008.

_____. *Physics, Structure, and Reality*. Oxford: Oxford University Press, 2021.

NOZICK, R. *Invariances: The Structure of the Objective World*. Cambridge, MA: Harvard University, 2001.

PSILLOS, S. *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. London: Routledge, 1999.

RAMSEY, F. *Foundations*. London: Routledge and Kegan Paul, (1978 [1928]).

ROBERTS, J. “A puzzle about laws, symmetries and measurability”. *The British Journal for Philosophy of Science*, 59: 143-168, 2008.

ROSS, D., Ladyman, J. y Kincaid, H. *Scientific Metaphysics*. Oxford: Oxford University Press, 2013.

SCHRENK, M. *Metaphysics of Science: a systematic and historical introduction*. New York: Routledge, 2016.

SCHROEREN, D. “Symmetry fundamentalism: a case study from classical physics”. *Philosophical Quarterly*, 71 (2): 308-333, 2020.

SOTO, C.; BUENO, O. A Framework for an Inferential Conception of Physical Laws. En: B. Borge y R. Cani *Laws of Nature: Metaphysics and Epistemology*, Special Issue of *Principia: an international journal of epistemology*, 2019.

TELLER, P. “What is a stance?”. *Philosophical Studies* 121, 2004, pp. 159-170.

TOOLEY, M. “The nature of laws”, *Canadian Journal of Philosophy*, vol. 7, núm. 4, 1977, pp. 667-698.

TUGBY, M. Universals, laws, and governance. *Philosophical Studies*, 173(5), 1147-1163, 2016.

WEYL, H. *Symmetry*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1952.

WIGNER, E. “Invariance in physical theory”. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 93 (7): 521-526, 1949.

WIGNER, E. “Events, laws of nature, and invariance principles”. *Nobel Lecture*, December 12, 1963.

I – INFORMAÇÕES SOBRE OS AUTORES

Bruno Borge

Doctor en Filosofía por la Universidad de Buenos Aires (UBA). Es Investigador Adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y docente de Filosofía de las Ciencias en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires (FFyL-UBA), donde dirige proyectos de investigación sobre metafísica y epistemología de la ciencia. Correo electrónico: brunojborge@gmail.com

Cristian López

Doctor en Filosofía por la Universidad de Buenos Aires y la Universidad de Lausanne. Es Investigador Asociado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), *Senior Chercheur* del SNSF de Suiza. Dirige proyectos de investigación en Argentina sobre filosofía de la física y filosofía de las ciencias, y en Suiza sobre filosofía del tiempo y filosofía de la economía. Correo electrónico: cristian.lopez@unil.ch

II – INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

Recebido em: 10 de dezembro de 2023

Aprovado em: 23 de dezembro de 2023

Publicado em: 24 de dezembro de 2023