



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE FILOSOFIA Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA

ESTRUCTURALISMO CIENTÍFICO: REALISMO Y REPRESENTACIÓN

Tesis para optar al grado de licenciado en filosofía

Franco B. Menares Paredes

Profesor Guía: Cristian Soto Herrera

Santiago, 2021

“Wyman’s overpopulated universe is in many ways unlovely. It offends the aesthetic sense of us who have a taste for desert landscapes”

W. V. O. Quine

A Gladys, Rodrigo y Carol

Agradecimientos

Este trabajo (y la etapa que él culmina) no habría sido posible si no fuera por un puñado de personas y circunstancias que me rodean. Mi padre, Rodrigo Menares, me inculcó el gusto por la lectura y estimuló mi curiosidad desde que la más tierna infancia. Están vivas en mi memoria esas asistencias anuales a la *feria del libro* y esos *Mampato y Ogú* que devoraba y que —me gusta pensar— son mi *infancia literaria*. Él fue también quién me inculcó el gusto por la buena música y el buen fútbol (Universidad Católica); mi padre es uno de los grandes responsables de la persona que soy hoy en día.

Mi madre, Gladys Paredes, no sólo me dio la vida —condición de posibilidad para todo—, sino que además construyó un hogar donde crecí rodeado de amor y preocupación, me inculcó muchos de los valores que hoy —ya adulto— modelan cómo veo el mundo y cómo quiero el mundo; me alimentó, me educó, me vistió, me regañó y me felicitó, reímos y lloramos juntos, me vio crecer y me *hizo* crecer.

Mi compañera, Carol, es probablemente la persona que más admiro en el mundo; he aprendido mucho de la vida sólo viéndola a ella. Su amor, cariño y comprensión han sido por años un pilar fundamental en mi vida; su compañía me inunda de esperanza en el futuro —un privilegio en estos días.

Entre las circunstancias que me rodean hay, también, mucha gente que hace de este mundo, para mí, un lugar mejor: Luis, mi abuela, mi tío, mi madrina, mis amigos, mis hijas no-humanas (Coco y Canela). Mencioné lo difícil que es tener esperanzas en el futuro, ello sería derechamente imposible sin mucha gente anónima —y otra no tanto— que se parte el lomo día a día por hacer de este mundo un lugar mejor; muchos y muchas de ellos dieron la vida por su lucha, muchos y muchas hoy son perseguidos, muchos y muchas están privados de libertad, a muchos y muchas les falta un ojo, a un par ambos; tengo la suerte de conocer a unas cuantas de estas personas. Gracias por darle fe a este escéptico crónico.

Por último, no puedo dejar de agradecer a Cristian, mi *profe*, por la dedicación y cariño que le entrega a su trabajo, por aconsejarme y por mostrarme que no sólo hombres blancos en toga pueden *hacer* filosofía. Él ha sido fundamental en mi formación también por su sentido profesional de la disciplina, algo —lamentablemente— no muy común en esta parte del mundo;

Cristian es el filósofo más profesional que conozco, espero algún día honrar la dignidad de la disciplina siendo tan profesional como él.

Índice de contenidos

<i>ESTRUCTURALISMO CIENTÍFICO: REALISMO Y REPRESENTACIÓN</i>	0
<i>Agradecimientos</i>	6
<i>Índice de contenidos</i>	9
<i>Resumen</i>	12
<i>Introducción</i>	14
<i>Capítulo 1 Estructuralismo: realismo y representación</i>	20
1.1 <i>¿Qué es el realismo estructural?</i>	21
Lo mejor de dos mundos	21
Una ontología de estructuras	23
1.2 <i>La concepción semántica de las teorías científicas</i>	25
Teorías como familias de modelos.....	25
Modelos como estructuras matemáticas	26
La representación estructural	27
El problema de la aplicabilidad de las matemáticas	29
<i>Capítulo 2 Sobre el colapso de estructuras físicas en estructuras matemáticas</i>	32
2.1 <i>Sobre la distinción entre estructuras matemáticas y estructuras físicas</i> 33	
2.2 <i>La tesis del colapso</i>	36
2.2 <i>Tratando de esclarecer el colapso</i>	37
2.2 <i>El colapso y la representación científica</i>	40
<i>Capítulo 3 Una propuesta deflacionaria</i>	43
3.1 <i>Representación sin reificación</i>	44
3.2 <i>Concepción inferencial de la representación</i>	49
3.3 <i>El estructuralismo semántico, un esbozo</i>	53

Conclusión.....58
Referencias62

Resumen

El presente trabajo se propone tres objetivos: (i) plantear una problemática que emerge de la intersección entre los problemas del realismo científico y la representación científica; (ii) ofrecer una crítica al realismo científico —específicamente a su vertiente estructural-ontológica (el REO)— a partir del problema planteado; y (iii) elaborar una propuesta de solución a (i), desde un punto de vista deflacionario, que supere las dificultades que el realismo y otras propuestas empiristas disponibles en la literatura enfrentan.

La estructura del trabajo es la siguiente. En la introducción se ofrece una aproximación general al problema, se presenta la hipótesis y la estructura del escrito. En el primer capítulo se aborda el objetivo (i), se presentan las tesis relevantes relativas al realismo estructural y a la concepción semántica de las teorías científicas; luego se profundiza en la concepción estructural de la representación científica y en la concepción de estructuras parciales; finalmente, se llama la atención acerca de los paralelismos que existen entre el problema de la representación científica y el problema de la aplicabilidad de las matemáticas. El segundo capítulo se encarga del objetivo (ii), para ello comienza por presentar el problema de la distinguibilidad entre las estructuras físicas y matemáticas en el marco del REO; a continuación se presenta la *tesis del colapso* como postura ante este problema; seguido, se describen algunos de los intentos infructuosos por ofrecer una salida alternativa; finalmente, se desarrolla una crítica al REO que apunta a su impotencia para ofrecer una cuenta satisfactoria en base a lo planteado en el capítulo anterior. El tercer capítulo intenta responder al objetivo (iii), en él se presentan algunas de las propuestas del *empirismo estructuralista*, junto con las críticas que éstas enfrentan; a continuación, se expone el andamiaje teórico de la *concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas* y se aplica al problema de la representación científica; finalmente, se desarrolla una concepción estructuralista que llamo *semántica*, y que responde a las inquietudes planteadas en este capítulo y el anterior.

Introducción

El presente trabajo aborda dos de las preguntas más notables que se plantean hoy en día en filosofía de las ciencias: por un lado, el perenne problema del realismo científico, es decir, la pregunta de si debemos o no creer en las entidades y procesos inobservables que describen nuestras teorías científicas; y por otro, el problema de la representación científica, el que se puede entender como la pregunta acerca de cómo los científicos representan el mundo.

La asociación de estos dos problemas no es caprichosa. El debate del realismo científico se conecta con prácticamente todas las demás problemáticas de la filosofía de las ciencias, y el caso de la representación científica no es la excepción. Ahora bien, las intersecciones entre los problemas del realismo científico y la representación científica tienen una importancia que considero particular, pues repercute en los términos mismos en los que se da el debate.

Se suele considerar que la unidad de análisis en filosofía de las ciencias son las teorías científicas y ellas son usualmente pensadas como aparatos representacionales. En consecuencia, se entiende que buena parte de la práctica científica está destinada a construir representaciones que luego son acomodadas en estructuras mayores que son las teorías y desde allí son utilizadas para predecir, explicar y manipular fenómenos que atraen nuestra atención. Elucidar cómo funciona la representación científica es una buena parte de la tarea de elucidar cómo funcionan las ciencias en general.

El vínculo entre el problema de la representación y el realismo se percibe fácilmente en la siguiente observación. El realismo científico es la doctrina que sostiene que nuestras mejores teorías científicas son (al menos aproximadamente) verdaderas; si se nos permitiera ponerlo en términos de lógica epistémica, el realismo científico cuantifica sobre teorías: lo que el realismo científico sostiene es que nuestras teorías son (al menos aproximadamente) verdaderas; por lo tanto, en este contexto, los objetos de creencia o conocimiento son precisamente estos últimos, las teorías. En consecuencia, una concepción completa de lo que significa ser realista científico debe entregarnos una respuesta a la pregunta de en qué consisten estas entidades acerca de las cuales se dice ser realista, en qué consisten las teorías¹.

¹ Se podría objetar que el o la realista no lo es respecto a las entidades que son las teorías mismas, sino respecto a aquello a lo que ellas refieren. Sea cual sea el caso, igualmente nos deberían una caracterización de las teorías que sea compatible con esta noción, y ésta no debe simplemente suponerse.

La intuición anterior está emparentada muy de cerca con una inquietud a la que se le ha dado el nombre de *el desafío de Chakravartty* [*Chakravartty's challenge*], que consiste en la observación de que no basta con postular una ontología para asumir concepción filosófica acerca de la ciencia: “no podemos apreciar totalmente qué puede significar ser realista hasta que tengamos una imagen clara acerca de aquello sobre lo que estamos invitados a ser realistas” (Chakravartty 2007, p. 26). Según French (2014, citado en Bueno 2019, p. 1) esto implica ofrecer una *ontología*, una *epistemología* y una *pragmática*. A lo anterior yo agregaría —por las razones mencionadas en estos párrafos— que debemos ofrecer una concepción de las teorías científicas y de la manera en la que estas se conectan con el mundo; en definitiva, debemos ofrecer una *semántica* de la ciencia.

Esta última inquietud se percibe del todo justificada si caemos en cuenta del hecho de que la concepción de las teorías científicas que encuentra mayor adhesión entre la comunidad filosófica en la actualidad es aquella que concibe a las teorías científicas como *familias de modelos*. En el desarrollo de este trabajo veremos qué significa esto último, lo relevante para esta introducción es la noción de que las teorías son entidades *extralingüísticas*, y, por lo tanto, no son el tipo de cosas que se pueda decir con propiedad que sean *verdaderas* o *falsas*, al menos no en un sentido tradicional donde se entiende que los «portadores» de la verdad son las proposiciones.

Estas observaciones hacen pensar que los términos en los que tradicionalmente se ha presentado el realismo están —en el fondo— equivocados. Ha habido —sin embargo— desarrollos más recientes del realismo que han acogido (por razones independientes) esta concepción extralingüística de las teorías, y han desarrollado una concepción *estructural* del realismo científico. Nuevamente, en el cuerpo principal se ofrecerá una caracterización de estas formas estructurales de realismo; para propósitos de esta introducción me basta con ilustrar cómo la dimensión semántica está involucrada en el debate del realismo.

Las distintas concepciones de las teorías científicas nos conducen a diferentes nociones acerca de cómo éstas se relacionan con el mundo. Ellas lo hacen primariamente como representaciones de determinados sistemas o de un conjunto de fenómenos relevantes para el contexto. Para el realismo estructural, el impronete metafísico de las teorías lo encontramos en sus componentes estructurales, por lo tanto, se hace natural pensar en una relación teoría-mundo que se expresa en términos estructurales también al nivel de su representación.

Sin embargo, veremos que cuando transitamos el camino inverso, es decir, cuando partimos de una ontología estructural y nos preguntamos cómo es representada con las herramientas (generalmente matemáticas) con las que los científicos suelen representar, emergen dificultades que nos pueden hacer dudar de la idoneidad de este enfoque. Me refiero particularmente a la *tesis del colapso*, la cual plantea que, dada una ontología puramente estructural, diferenciar las estructuras matemáticas que utilizamos para representarnos la ontología y las estructuras físicas mismas es una tarea infructuosa que no puede sino llevar al *sinsentido*.

El realismo estructural no puede, por tanto, acomodar tan fácilmente la dimensión semántica sobre la que hemos llamado la atención y sobre la que radica la inquietud que nos lleva a plantear que los términos en los que se formula el realismo son —probablemente— los equivocados. Sostengo que, en consecuencia, la mejor estrategia que podemos adoptar es dispensar nuestro compromiso con una ontología realista y adoptar un sano agnosticismo en lo que a esta dimensión respecta.

En definitiva, las preguntas por el realismo científico y por la representación científica apuntan a una pregunta primitiva común que es la de cuál es la conexión que existe entre las teorías y el mundo, conexión que fundamenta el hecho de que las ciencias sean una empresa epistémica privilegiada.

La parte propositiva de este trabajo consiste en elaborar una propuesta que pueda ofrecer una respuesta satisfactoria a esta inquietud semántica sin asumir una ontología subyacente, es decir, adoptando la actitud agnóstica que recomiendo frente a las dificultades que la ontología estructural acarrea. Este enfoque que se decanta por una interpretación semántica más bien que ontológica del carácter estructural de las teorías científicas ha sido adoptado por muchos filósofos empiristas en un intento por ofrecer una cuenta deflacionaria de los problemas de la filosofía de las ciencias: el carácter estructural de las teorías científicas tiene su causa más bien en la manera que tenemos de representarnos los fenómenos que estudian las ciencias y no necesariamente en una supuesta naturaleza estructural del mundo en sus niveles fundamentales.

Sin embargo, esta última estrategia no ha estado exenta de dificultades. La principal piedra con la que esta propuesta tropieza es la de dar cuenta satisfactoriamente de la manera en la que una estructura (matemática) puede representar a algo que *prima facie* no es una estructura, esto es, los fenómenos. El elemento novedoso que pretendo presentar en este trabajo

consiste en una manera de responder a este último problema, a saber, basándome en la concepción inferencial de la aplicación de las matemáticas planteo que podemos pensar la representación estructural de los fenómenos en tres etapas o momentos (*inmersión, derivación e interpretación*), y así elucidar la manera en la que una estructura pasa a representar y ser vehículo para extraer inferencias de determinada clase de fenómenos que son relevantes para determinada empresa científica. El mecanismo por el que opera esta representación funciona básicamente porque tenemos la capacidad de proyectar determinada estructura en determinados fenómenos y estos de «rechazar» o «aceptar» dicha proyección en función de la idoneidad o adecuación empírica de las inferencias que es posible extraer de la estructura en cuestión, una vez interpretada en los términos del fenómeno que se pretende representar.

La estructura de este trabajo es la siguiente. En el primer capítulo me dedico a ofrecer una suerte de marco teórico de los temas relevantes a tratar a lo largo del argumento. En primer lugar, introduzco la doctrina del realismo estructural y preciso las características de la vertiente óptica del mismo. Luego, introduzco consideraciones acerca del debate entre las distintas concepciones de las teorías científicas, con especial atención en la visión semántica de las teorías y la centralidad que ocupan los modelos para ella. Acto seguido, hablo de las maneras en que se caracterizan estos modelos, y me concentro en la concepción que considera que los modelos ocupados en ciencias tienen esencialmente la misma naturaleza que aquellos de los que se habla en el campo de las matemáticas: los modelos son estructuras abstractas que hacen verdadera a una teoría. Este último tema me permite presentar la concepción estructural de la representación científica, y dentro de las propuestas estructurales escojo la concepción de estructuras parciales para desarrollar con un poco más de profundidad los detalles de esta teoría. El capítulo finaliza llamando la atención sobre las intersecciones que se encuentran entre el problema de la representación científica abordado desde este punto de vista, y el problema de la aplicabilidad de las matemáticas.

El objetivo del segundo capítulo es mostrar que el realismo estructural (óptico) enfrenta una seria dificultad para entregarnos una teoría de la representación científica satisfactoria. El argumento comienza presentando el problema de la distinguibilidad entre estructuras matemáticas y físicas: en el contexto de esta forma de realismo las estructuras físicas colapsan en estructuras matemáticas al no poder ofrecer criterios de distinguibilidad que sean consistentes con sus concepciones metafísicas. Luego, describo cómo algunos teóricos han abrazado lo que se ha dado en llamar la *tesis del colapso*, y ofrezco una caracterización de ésta. A continuación, reseño algunos de los intentos que se han hecho por sobreponerse a esta

dificultad, y adoptar una tesis distinta a la del colapso; concluyo que, sin embargo, estos intentos no terminan por entregarnos una propuesta satisfactoria y debemos asumir que no contamos con una concepción que nos permita separar la ontología de la representación en el marco del realismo estructural de tipo óptico. Esta última consecuencia es abordada en la última sección del capítulo, y se exploran las implicancias que esto tiene para el debate del realismo científico y el problema de la representación científica. El capítulo cierra con un adelanto de la postura que defenderé en el capítulo tres como una alternativa a las dificultades que emergen de esta forma de realismo.

El último capítulo de este trabajo comienza rescatando algunas de las propuestas que se han elaborado desde la perspectiva empirista que hacen compatibles una concepción estructural de las ciencias con una actitud escéptica respecto al realismo científico. El objetivo de estas aproximaciones es el de presentar una teoría de la representación científica que no acuda a la reificación de las estructuras (sean éstas el *vehículo* de representación, o aquello a representar), sino que basa el fenómeno de la representación en la intención del usuario de los modelos que son utilizados para representar. A continuación, presento las dificultades que estas propuestas enfrentan y las razones que me llevan a elaborar una propuesta alternativa. La siguiente sección del capítulo se dedica a introducir el marco teórico de la concepción inferencial de las matemáticas y a mostrar cómo puede ser aplicado al problema que estamos tratando. Finalmente, ofrezco una descripción de cómo funciona la representación científica según la concepción que he elaborado, y extraigo las consecuencias que estas tesis tienen para el debate del realismo científico.

Capítulo 1

Estructuralismo: realismo y representación

En el presente capítulo se expondrá brevemente en qué consiste la doctrina del realismo estructural, con especial énfasis en su vertiente ontológica; y se caracterizará la concepción de las teorías científicas asociada al estructuralismo, a saber, la *concepción semántica* de las teorías científicas. El objetivo de este capítulo es mostrar las intersecciones entre las concepciones estructurales relativas al problema del realismo científico y al problema de la representación científica.

El problema del realismo científico consiste en la pregunta de si estamos justificados en ser realistas respecto a nuestras mejores teorías científicas. Lo que se cuestiona es si estamos justificados en adoptar la creencia de que nuestras teorías nos ofrecen descripciones verdaderas del mundo, y en comprometernos con la ontología o las entidades que son postuladas en estas.

Este problema está íntimamente ligado a la cuestión de la representación científica, esto es, la pregunta acerca de cómo nuestras teorías y modelos científicos representan. Las teorías suelen ser tomadas como aparatos representacionales, por lo tanto, *el compromiso que suscribe el realista es con determinadas representaciones que están putativamente por el mundo*. En consecuencia, para explorar el problema del realismo científico en detalle debemos ofrecer una explicación acerca de qué tipo de relación existe entre las teorías y el mundo (si alguna, si cognoscible), es decir, dar cuenta de la manera en que estas representaciones estarían por determinadas porciones del mundo y en determinados aspectos. Esto último corresponde al problema de la representación científica.

Como consecuencia de lo dicho, extraemos que bien nuestra respuesta al problema del realismo científico depende o está condicionada por nuestra visión acerca del problema de cómo modelos y teorías científicas representan; o bien que, si pretendemos que nuestra teoría esté completa, debemos elucidar cómo nos formamos la creencia de que los mecanismos representacionales de la ciencia son de tal manera que se justifica nuestro compromiso con la

creencia de que los aparatos o vehículos representacionales que utilizamos (i.e. las teorías) son representaciones fidedignas de aquello que pretenden representar².

A continuación nos dedicaremos a exponer algunas de las ideas principales de dos de las propuestas más ampliamente adoptadas frente a estos problemas, y que además suelen coincidir dentro de las doctrinas de los mismos filósofos individuales: por una parte el realismo estructural (con énfasis en su variable óptica), como doctrina ante el problema del realismo científico; y por otra la concepción semántica, específicamente en su versión estructuralista, para el problema de la representación científica. La necesidad teórica de abordar ambos asuntos (el debate sobre la representación y el realismo científico) debe generalizarse a todas las propuestas disponibles en la literatura sobre estos temas, hemos escogido —sin embargo— las presentes como caso de estudio primariamente por su relevancia en el debate contemporáneo.

1.1 ¿Qué es el realismo estructural?

Lo mejor de dos mundos

La doctrina conocida como *realismo estructural* nace en el contexto del debate sobre el realismo científico a fines de los años 80' del siglo pasado,³ como un intento de ofrecer una propuesta que integrara los argumentos más potentes de cada uno de los bandos en debate, a saber: el *argumento de los milagros* por parte del realismo científico; y el argumento conocido como *meta-inducción pesimista*, por parte del *anti-realismo*.

A muy grandes rasgos podemos reconstruir el argumento del milagro de la siguiente manera: todos estamos de acuerdo en que las ciencias han tenido un éxito empírico arrollador que nos ha permitido explicar, predecir y controlar una serie de fenómenos que no están naturalmente a nuestro alcance. Ahora bien, si las teorías y las descripciones de las entidades que la ciencia propone no fueran (al menos) aproximadamente verdaderas, el hecho de que la ciencia tenga tal magnitud de éxito empírico —sostienen los realistas— sería un milagro.

² En el caso del realismo, se asume que el *target* —es decir, aquello que se quiere representar— de las representaciones científicas en su nivel teórico son determinadas parcelas del mundo que se corresponden con el dominio de una determinada teoría.

³ En rigor, podríamos trazar una línea histórica de esta doctrina hasta los trabajos de Henri Poincaré a principios del S. XX (cf. Worrall, 1989; Poincaré, 1905), pasando por los trabajos de Russell y Maxwell. Sin embargo, no se encuentra entre los propósitos de este trabajo el ofrecer una arqueología histórica de estas ideas. Para una excelente reseña histórica se puede consultar Frigg y Votsis (2011)

Por otro lado, los escépticos acerca del realismo llaman la atención sobre el hecho de que, a lo largo de la historia, las ciencias han tenido por verdaderas muchas teorías que —sin embargo— hoy son consideradas derechamente falsas. En consecuencia, surge la siguiente inquietud: ¿qué nos asegura que las teorías que hoy tenemos por verdaderas no vayan a tener el mismo destino que sus predecesoras? Éste es, en términos muy generales, el razonamiento de la meta-inducción pesimista.

El realismo estructural acepta este último argumento: efectivamente la historia de la ciencia está plagada de teorías que en algún punto han sido abandonadas y han pasado a ser consideradas falsas; sin embargo, estas teorías nunca son desechadas del todo, habría una parte de ellas que permanece a lo largo de los distintos cambios teóricos, a saber, la estructura de las teorías. Nuestro compromiso realista, por lo tanto, debería limitarse a los aspectos estructurales de las teorías, mientras que se recomienda adoptar una actitud agnóstica respecto al resto de sus elementos⁴.

James Ladyman (1998) propone —sin embargo— distinguir entre dos clases de realismo estructural. La primera de ellas la llama *realismo estructural epistémico* (REE), que —tal como su nombre lo dice— sería una postura epistémica, es decir, acerca de lo que podemos conocer, y consistiría en limitar nuestros compromisos o creencias al contenido estructural de las teorías; sin embargo, esta concepción se mantendría silente respecto a la ontología científica. Esto es muchas veces expresado a través de un artilugio conocido como *oraciones de Ramsey*, las cuales —aplicadas a la expresión de teorías científicas— consistirían en reemplazar en los enunciados lógicos de primer orden los términos teóricos por descripciones de sucesos observables o variables lógicas cuantificadas existencialmente.

Según Ladyman, el problema con esta clase de estructuralismo es que —en la práctica— dejaría intactos los compromisos ontológicos del realismo tradicional, adoleciendo, por lo tanto, de los mismos defectos que éste. En concreto, la vertiente epistémica del estructuralismo no sería capaz de dar respuesta a la objeción de la meta-inducción pesimista, pues, al sostener una ontología análoga a la del realismo clásico, no podría dar cuenta del cambio teórico que se produce cuando entidades postuladas por teorías abandonadas son reemplazadas —o simplemente eliminadas— en las nuevas teorías. Un ejemplo clásico al que

⁴ El trabajo seminal de esta doctrina corresponde al paper de Worrall publicado en 1989, al que se hace referencia en la nota anterior.

se suele aludir para ilustrar este punto último es el del destino del *éter*: el *éter* es el medio que se creía permeaba todo el espacio físico y ocupaba un lugar central en muchas teorías por el rol que se pensaba cumplía en los fenómenos electromagnéticos y gravitacionales como medio de propagación, sin embargo, luego de los desarrollos de la física moderna a comienzos del siglo pasado, especialmente a las teorías de la relatividad especial y general, cayó generalizadamente en desuso y hoy se le considera como un mero artefacto teórico perfectamente dispensable y sin correspondencia en el mundo físico. Según esta crítica, mientras no adoptemos una ontología estructuralista la doctrina del REE, a través de meras restricciones epistémicas, no es capaz de desembarazarse de estos elementos indeseables tales como el *éter*.

Una ontología de estructuras

La propuesta de Ladyman, entonces, es asumir una doctrina que bautiza como *realismo estructural óntico* («REE» de aquí en adelante), y que consiste en abandonar la ontología de *objetos* del realismo científico tradicional, en favor de una ontología de *estructuras*; esto lo diferenciaría del REE, pues el REE pretende ser una teoría *metafísica*, y no *epistemológica* como es el caso de la anterior. En lo que queda de esta subsección intentaremos ofrecer una imagen de qué significa esto.

Un buen punto de partida es ofrecer una caracterización —en términos muy generales e intuitivos (no técnicos)— de qué se entiende por estructura. Una estructura suele ser pensada como un conjunto de elementos u objetos circunscritos en un determinado dominio, y un conjunto de propiedades o relaciones en las que estos elementos participan. Inspirándonos en un ejemplo ofrecido por Thomson-Jones (2011), tomemos una estructura S_1 que consiste en los elementos a , b , c , d y e , tal que a tiene la propiedad de estar sobre los otros elementos, y no hay otro elemento que tenga la propiedad de estar *sobre* otro elemento; y que b , c , d y e tienen la propiedad de *ser metálicos*, pero a no. El señor Thomson-Jones afirma que su escritorio es de tal manera que *instancia* la estructura S_1 : tal escritorio está compuesto por una cubierta de madera que descansa por sobre cuatro patas metálicas, es decir, se compone de un elemento a (la cubierta) que tiene la propiedad (o está en la relación) de *estar por sobre* los elementos b , c , d y e (las patas), mientras ninguno de los otros elementos tiene la propiedad de *estar por sobre* alguno de los otros elementos; y a su vez estos últimos elementos (b , c , d y e , es decir, las patas) tienen la propiedad de *ser metálicos*, mientras que a (la cubierta) no (es de madera). Tenemos, pues, que el escritorio del señor Thompson-Jones instancia la estructura S_1 .

Ahora bien, el concepto tradicional o intuitivo de estructura suele asumir que la estructura *superviene* a sus constituyentes, es decir, surge a partir de las entidades que instancian una relación. En nuestra ontología de sentido común, se asume que el mundo está compuesto básicamente por *objetos* que poseen propiedades y que interactúan entablando determinadas relaciones entre ellos. Pero esta noción de estructura no se limita al ámbito prefilosófico, sino que también suele ser asumida en muchas ontologías propiamente filosóficas, entre ellas —notablemente para el debate que nos convoca—, la ontología del realismo científico. Por su parte, lo que Ladyman propone es que abandonemos esta concepción y adoptemos una ontología que considere a las estructuras como los entes básicos o fundamentales, que nuestra ontología no descansa ya en nociones como las de *objeto* o *individuo*, sino que —en cambio—, la piedra angular de nuestra ontología pasen a ser las estructuras. Esto significa, según sus propias palabras, «tomar a las estructuras como primitivos y entes ontológicamente subsistentes» (ídem, p.420).

¿Cómo luciría este mundo estructural que propone Ladyman? Para Ladyman los objetos no son más que abstracciones de aquellos nodos resultantes de las relaciones entabladas dentro de una determinada estructura. La estructura física del mundo debe ser pensada como una estructura modal (objetiva), de la cual emergen los fenómenos acerca de los cuales la física busca dar cuenta. Es justamente esta estructura modal —y no los objetos con sus propiedades que putativamente la conforman— la que la ciencia sería capaz de capturar y le permitiría generar predicciones exitosas. En sus palabras:

*(...) no necesitamos llegar al punto de creer en objetos, sean estos observables o no. Postular la existencia de relaciones modales estables entre los objetos es suficiente. La historia de las ciencias no sólo socava el materialismo y las visiones clásicas del espacio y el tiempo, sino que también la creencia en que las ciencias describen de forma verídica los objetos que se encuentran más allá de los fenómenos. Puede que sepamos muy poco acerca de la naturaleza de la realidad, pero podemos contar con la certeza de que posee una estructura modal que es capturada en cierto detalle por el sentido común y las ciencias⁵.
(Ladyman, Ross et al. 2007, p.106)*

En la ontología del REO, entonces, los objetos pasan a ocupar un rol secundario y pueden incluso ser eliminados de nuestro mobiliario del mundo. En cambio, se postula una metafísica basada en una noción de estructura modal que sería la que regiría el mundo físico y

⁵ Todas las citas del presente trabajo han sido traducidas al español por mí.

la que nuestras teorías científicas exitosas captarían, es precisamente este último rasgo lo que explica el éxito empírico de las ciencias.

1.2 La concepción semántica de las teorías científicas

Según el REO, entonces, debemos ser realistas respecto al contenido estructural de nuestras teorías científicas, pues ellas capturarían la estructura modal del mundo y —en consecuencia—, a partir de esto, podríamos dar cuenta de la capacidad de predecir, explicar y manipular que nos otorgan estas teorías. Cómo caractericemos nuestras teorías científicas es, por lo tanto, una cuestión de primera importancia si pretendemos perseguir a fondo las implicancias que los enfoques estructuralistas presentan respecto a la metafísica de la ciencia. En la presente sección expondremos la doctrina conocida como *concepción semántica de las teorías científicas* —que es la concepción de las teorías científicas asociada al REO—, y examinaremos brevemente algunas consecuencias que esta doctrina tiene para algunos aspectos clave del estructuralismo científico —en general—, y para el realismo estructural —en particular. Tal como veremos a lo largo de esta sección, esta concepción de las teorías científicas es atractiva para el realista estructural producto del énfasis que ella pone en la noción de estructura en el marco del debate de la naturaleza de las teorías científicas, así como en el del problema de la representación científica.

Teorías como familias de modelos

Como punto de partida es menester mencionar que existen dos grandes concepciones de las teorías científicas en la literatura reciente, a saber, la *concepción semántica* o *modelo-teorética*, por un lado; y, la *concepción sintáctica* o *visión recibida*, por otro. En esta sección nos dedicaremos a hablar de la primera de ellas, sin embargo, si queremos tener una comprensión situada de la primera no podemos dejar de mencionar algunas de las características de esta última.

La concepción sintáctica de las teorías científicas surge en el contexto de la filosofía del empirismo lógico, como un esfuerzo por precisar nuestra concepción de las teorías en vistas a sistematizar muchos de los debates que en aquella época se daban en la filosofía de las ciencias. Algunos de los filósofos importantes en el desarrollo de esta doctrina fueron Rudolf

Carnap, Ernst Nagel y Hans Reichenbach.⁶ Esta concepción plantea que las teorías científicas deben ser concebidas como un conjunto de enunciados, expresados en un lenguaje (formal) determinado, donde la parte teórica de ellas debe ser capaz de ser reducida a enunciados puramente observacionales, garantizando así el vínculo de las teorías con la evidencia. La chapa de *sintáctica* que ostenta esta concepción se debe a la importancia que cumple el cálculo lógico dentro de las teorías, pues es precisamente este aspecto de las teorías el que se pretende que recoja en forma axiomática las regularidades del mundo de las cuales las teorías tratan de dar cuenta.

La concepción semántica, en cambio, concibe a las teorías como entidades *extralingüísticas*, susceptibles de ser articuladas en una pluralidad de fórmulas lingüísticas (Suppe 1977, 221). Las teorías, por lo tanto, ya no son concebidas como un conjunto de *enunciados*, sino que —en cambio—, como una familia de *modelos*. Esto nos exige entregar una cuenta clara acerca de qué son estos modelos que se conciben como constituyentes de las teorías.

Modelos como estructuras matemáticas

La noción de *modelo* tiene una diversidad de usos en el contexto de las ciencias empíricas y formales, entre los modelos que nos encontramos en este ámbito se cuentan —por ejemplo— el modelo atómico del «*pudding de pasas*» de J. J. Thomson, el modelo cinético de bolas de billar, el modelo de predador-presa Lotka–Volterra, por sólo nombrar algunos. No obstante, han existido diversos esfuerzos por construir un marco teórico que pueda abarcarlos a todos.

Uno de los pioneros en el desarrollo de la concepción semántica de las teorías, Patrick Suppes, plantea que, pese a que el uso del concepto de modelo puede variar entre sus instancias, y de una disciplina a otra, el significado de éste es esencialmente el mismo tanto en matemáticas como en ciencias empíricas: cuando hablamos de modelos en este contexto hablamos de modelos *tarskianos*, en el sentido de estructuras que hacen verdaderas a una teoría (Suppes 1961, 165). En todo caso, las herramientas formales exactas que resulten más favorables para

⁶ Entre las obras de estos filósofos que se consideran relevantes para el desarrollo de la concepción sintáctica encontramos: Carnap (1967, 1937, 1966), Nagel (1961) y Reichenbach (1938, 1969).

representar o dar cuenta de las teorías es un tema que no genera consenso entre los estructuralistas, y muchos apuestan a un enfoque pluralista al respecto.⁷

Lo que sí es ampliamente aceptado dentro del estructuralismo es la visión de que los modelos que conforman las teorías científicas son mejor considerados como estructuras matemáticas que nos permiten establecer precisamente las relaciones que existen entre nuestras teorías y nuestros modelos o estructuras teóricas, por un lado; y los fenómenos y datos que funcionan como base empírica para ellas, por el otro.

La representación estructural

Las teorías usualmente son pensadas como aparatos representacionales que dan cuenta bien de cierta clase de fenómenos en su dominio objetivo, o bien de una porción de mundo (en el caso del realista). Dada la concepción desarrollada a lo largo de esta sección, ¿cómo podemos dar cuenta de la representación de las teorías científicas en términos estructurales?

Como mencionamos en la subsección anterior, para el estructuralismo los modelos son representados propiamente como estructuras matemáticas que se relacionan con otras estructuras (sean ellas modelos de otras teorías o subestructuras de la misma) mediante estructura compartida entre ellas. Esto nos deja un problema importante: debemos ofrecer una explicación acerca de cómo las teorías pueden ser entendidas como instrumentos representacionales del mundo o de ciertos fenómenos, a pesar del carácter matemático que se les adjudica dentro de esta concepción.

No olvidemos que uno de los fenómenos que debemos tener a la vista es el del éxito empírico de las teorías. En este sentido el sitio donde debemos buscar la explicación a este fenómeno según este marco teórico es en aquellas relaciones dentro de los modelos que nos permiten predecir ciertas relaciones modales presentes en el mundo y desconocidas hasta ese entonces. La representación, entonces, para el estructuralismo se da en este nivel —o entre estos elementos: relaciones presentadas en los modelos de las teorías y relaciones modales presentes en el mundo⁸. El realista tradicional podría dar cuenta de las relaciones modales del mundo apelando a las leyes de la naturaleza que cada teoría postula, sin embargo, esta

⁷ Cf. Landry (2007), Bueno y French (2011), French (2014), Arenhart y Bueno (2015)

⁸ Esto, para el realismo óntico estructural. Para otras formas de estructuralismo la representación se daría entre estos modelos teóricos y los objetos, propiedades y relaciones del mundo, o entre los modelos teóricos y determinadas clases de fenómenos —tal como veremos en el último capítulo de este trabajo. En mor de la exposición del argumento éste se plantea desde el punto de vista del REO.

posibilidad pierde plausibilidad si atendemos a casos de cambio teórico donde las leyes de teorías anteriores son descartadas, o al hecho de que, estrictamente hablando, muchas leyes propuestas por teorías son derechamente falsas producto de las idealizaciones de los modelos que conforman a estas teorías (cf. Cartwright 1983, 1999)

Para el estructuralismo, la representación no debe entenderse como una relación semántica referencial en los términos de correspondencia como se ha hecho tradicionalmente, necesitamos una nueva semántica que nos permita dar cuenta del rol representativo de las matemáticas de manera directa (Ladyman, 1998, p.418). La semántica del realismo estándar debe ser reemplazada por una semántica que permita dar cuenta de las relaciones globales que existen entre los modelos y el mundo que explican el éxito predictivo de las teorías; pero que no supervenga de la referencia exitosa de los términos teóricos a individuales, o los valores de verdad de los enunciados en los que ellos ocurren.

Ladyman plantea que «la concepción semántica nos alienta a pensar en la relación entre las teorías y el mundo en términos de estructuras matemáticas y formales» (Ladyman y Ross, 2007, p.118). La representación se daría, entonces, por la vía de morfismos entre estructuras. Filósofos defensores del REO como el mismo James Ladyman, junto con Steven French (French y Ladyman 1997); además de otros más bien afines al empirismo, como Otavio Bueno (1997, 1999) e incluso provenientes de parcelas de la filosofía completamente distintas como Newton da Costa (destacado lógico y matemático) (da Costa y French 2003); han desarrollado en conjunto una concepción estructuralista de las teorías científicas basada en la noción de estructuras parciales originalmente planteada por Mikenberg *et al.* (1986)

Una caracterización (simplificada) de lo que se suele entender por estructura parcial puede ser la siguiente: Dada una estructura S , tal que $S = \langle D, R^i \rangle_{i \in I}$; donde D es un conjunto de objetos en un dominio particular, y R^i una familia de relaciones parciales definidas (extensionalmente) sobre D . Una estructura parcial es una estructura definida sobre relaciones parciales n -arias (R^i) tales que $R^i = \langle R^{i1}, R^{i2}, R^{i3} \rangle$; donde R^{i1}, R^{i2} , y R^{i3} son conjuntos mutuamente excluyentes, con $R^{i1} \cup R^{i2} \cup R^{i3} = D^n$; y tal que R^{i1} es el conjunto de n -tuplas que satisfacen R^i ; R^{i2} el conjunto de n -tuplas que no lo satisfacen; y R^{i3} es el conjunto de n -tuplas que no está definido si lo satisfacen o no.

Por su parte, un isomorfismo $f: D \rightarrow D'$ es un *isomorfismo parcial* entre E y A si

(1) f es biyectiva; y

$$(2) \forall(x) \forall(y) \in D [R_{i1}xy \leftrightarrow R'_{i1} f(x) f(y)] \wedge [R_{i2}xy \leftrightarrow R'_{i2} f(x) f(y)]$$

En este marco, se considera que una teoría representa a un fenómeno (o modelo de datos) en la medida en que estos últimos establezcan una relación de *isomorfismo parcial* entre ellos.

El problema de la aplicabilidad de las matemáticas

Es interesante observar los vínculos que emergen entre la concepción estructural de la representación científica y el debate sobre la aplicabilidad de las matemáticas en el ámbito científico. Si tal como lo hacen muchos estructuralistas, asumimos que toda representación científica es de carácter estructural (o que puede plantearse en términos estructurales), es decir, a través de morfismos entre estructuras o mapeo matemático; el problema de la representación científica colapsa en el problema de la aplicabilidad de las matemáticas. La gran pregunta acerca de la representación científica queda planteada —entonces— en los siguientes términos: ¿Cómo es posible, o en virtud de qué mecanismos, pueden estructuras matemáticas como las que aparecen en nuestras teorías representar a aquellos fenómenos o porciones de mundo sobre los cuales estas teorías versan?

Este es un problema con una rica historia dentro de la filosofía de las ciencias, entre los pensadores que han atendido a este problema podemos contar a nombres de la talla de Russell, Carnap, Reichenbach o Putnam (cf. Van Fraassen 2008, p. 239). Sin embargo, no siempre se le vincula explícitamente con otro de los problemas prominentes en los debates contemporáneos de la filosofía de la ciencia relativos a la representación; me refiero al problema de la aplicabilidad de las matemáticas, que tiene como trabajo seminal el artículo de Wigner (1960) *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*. Tal como desarrollaré en el tercer capítulo de este trabajo, sostengo que parte de la reflexión en torno a este último problema puede aportarnos herramientas para abordar el primero, en particular, veo en la propuesta conocida como la *concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas* (cf. Bueno y Colyvan 2011; Bueno y French 2018) una alternativa viable para dar cuenta del rol representacional que las matemáticas pueden asumir en los niveles básicos de la jerarquía de estructuras que definen una teoría.

En lo que viene analizaremos una de las consecuencias que se desprenden de esta reflexión en base al tratamiento que le da James Ladyman al asunto de la relación entre estructuras físicas y matemáticas en el marco del REO. Todo indica que este autor no fue del

todo consiente de las consecuencias que esta aproximación a la relación estructural implicaba para el problema de la representación científica. Analizaremos lo que se ha llamado «tesis del colapso», y mostraremos cómo ciertas exigencias para dar cuenta de la dimensión semántica del estructuralismo, y de la aplicación de las matemáticas al modelamiento del mundo físico, ponen en aprietos el proyecto estructuralista óptico.

Capítulo 2

Sobre el colapso de estructuras físicas en estructuras matemáticas

En el capítulo anterior se examinó una manera de concebir el rol de las estructuras matemáticas en el ámbito de la representación científica, tomando a estas estructuras como los aparatos representacionales fundamentales que constituyen las teorías científicas. Según esta concepción, las estructuras matemáticas cumplen un rol representacional que, para los defensores del realismo estructural óntico, consistiría en capturar la estructura modal de la realidad de tal manera que gracias al contenido estructural de nuestras teorías seríamos capaces de explicar y predecir fenómenos acerca del dominio sobre el que versan estas teorías.

Sin embargo, hay algunos autores que han dado un paso más allá y plantean que las estructuras físicas modales y las estructuras matemáticas de nuestras teorías son, en última instancia, *indistinguibles*. A esta tesis se le conoce como la *tesis del colapso*,⁹ y consiste en sostener que el intento por diferenciar las estructuras físicas del mundo descritas por nuestra física fundamental y las estructuras matemáticas presentes en nuestras teorías fundamentales es —en última instancia— infructuoso, pues no existen elementos que puedan trazar esta distinción de manera satisfactoria.

Esta tesis genera una variedad de preguntas que conciernen al rol representacional de las matemáticas y al estatus ontológico de los objetos matemáticos, especialmente de las estructuras que funcionan como modelos de nuestras teorías. En el presente capítulo buscaremos abordar estas cuestiones. Para ello, en la primera sección de este capítulo introduciremos el problema teniendo a la vista el rol que cumplen las matemáticas en la ontología del REO; luego, se expondrá lo que se conoce como *tesis del colapso*, y las consideraciones en las que se basan Ladyman y Ross (2007) para sostener esta postura; a continuación se presentarán algunas consideraciones que plantea French (2014) en orden a tratar de esclarecer esta problemática; finalmente, sostendré que este problema se ha tratado principalmente teniendo en cuenta su arista ontológica, pero que la tesis del colapso es además una postura incómoda en vistas al problema de la representación científica.

⁹ Cf. French (2014); Soto (2019)

2.1 Sobre la distinción entre estructuras matemáticas y estructuras físicas

Una aproximación *bottom-up* al problema de la representación estructural puede proceder preguntándose por el tipo de relación que se postula que existe entre las estructuras matemáticas de nuestras teorías y los sistemas físicos que ellas suponen representar. Sin embargo, también es posible una aproximación *top-down* que, teniendo a la vista nuestras teorías fundamentales, se pregunta qué clase de distinción puede trazarse entre las matemáticas y la física en este nivel fundamental. Este problema es particularmente interesante en el marco del REO, pues veremos que constreñidos por la ontología que asume esta concepción se siguen consecuencias radicales a las preguntas planteadas en este problema.

Si planteamos una descripción de los sistemas físicos en términos puramente estructurales, las fronteras entre lo matemático y lo físico comienzan a difuminarse. Más aún si —tal como lo hace el REO— postulamos nuestra ontología en estos términos, corremos el riesgo de terminar por abrazar alguna clase de pitagorismo donde la naturaleza misma del mundo es concebida en términos matemáticos.

Para el REO, no está permitido plantear que la distinción entre lo matemático y lo físico radica en que esto último corresponde a la interpretación relevante de lo primero, o afirmar que las estructuras matemáticas son estructuras abstractas *no instanciadas*, mientras que las estructuras físicas son estructuras concretas, instanciadas. Este tipo de respuestas incurrirían en una petición de principios, pues se basa en la distinción que se debe explicar. El REO debe ser capaz elucidar cómo es posible obtener la subestructura empírica y sus observaciones asociadas en términos puramente matemáticos (French 2014, p. 193).

Tegmark (2006) plantea que esto es posible a través de las simetrías relevantes que, por hipótesis, corresponden tanto en las estructuras matemáticas como en las estructuras físicas del mundo. En estos términos, Tegmark sostiene ser capaz de dar cuenta de cómo términos como *masa* o *spin* emergen de las matemáticas relevantes en cada caso. Así, el polo experimental del espectro donde tienen lugar la descripción de ángulos, distancias o duraciones, podrían ser todas ellas relacionadas o reducidas a propiedades de la estructura matemática superior.

La concepción de Tegmark consiste en sostener que cualquier descripción de la realidad que pretenda ser completa debe cumplir con la condición de ser definida en términos tales que se encuentre desprovista de cualquier *carga humana* [*human baggage*]. Dentro de esta carga se contarían los términos a través de los cuales las ecuaciones de las teorías adquieren

interpretación y mediante los cuales las estructuras teóricas son vinculadas con el contenido empírico correspondiente.

Al eliminar esta *carga humana* obtenemos una descripción completa en los términos de Tegmark, la que resultaría en una descripción estrictamente matemática. Esta estructura matemática resultante se consideraría que es *isomórfica* a la realidad. Dos estructuras isomórficas son idénticas. Por lo tanto, la conclusión a la que nos lleva la hipótesis de Tegmark es que la realidad *es* una estructura matemática. A esta hipótesis se le conoce por el nombre de *Hipótesis del Universo Matemático* (French 2014), y se puede considerar como una variante *pitagórica* del REO (Soto 2019).

Ahora bien, se podría cuestionar el precepto que considera que la interpretación de las ecuaciones y el significado que se le pudiera adjudicar a los términos relevantes de la teoría son parte de su *carga humana*, y junto a ello la idea de que una teoría completa del mundo en los términos señalados deba ser puramente matemática. Sin embargo, para el o la estructuralista la abstracción de esos elementos idiosincráticos del significado de los términos teóricos es exactamente la tesis que afirma el *grounding* estructural de ellos, estructura que resulta ser —tal como lo hemos visto— precisamente matemática. (French 2014 p.196) Esto nos lleva nuevamente al problema de tener que dar cuenta en qué respectos se diferencian estas estructuras físicas y matemáticas.

Morganti (2011) ha hecho notar la dificultad que la o el estructuralista óntico enfrenta a la hora de dar cuenta de cómo la invariancia a través de transformaciones de grupos puede fundamentar [*to ground*] las propiedades *actuales* de los objetos. En el marco del REO, los objetos y propiedades son identificados en términos de invariancia de permutaciones de grupos. En estas invariancias —sin embargo— no podemos encontrar los tokens de los objetos y propiedades causalmente eficaces de nuestra ontología. A la luz de esta observación pareciera que, de aceptar la posibilidad de distinguir entre propiedades (o estructuras) *instanciadas* y *no instanciadas*, o bien, *abstractas* y *concretas*, el REO se ve en problemas para mostrar cómo estas estructuras abstractas que presentan los objetos y sus propiedades pueden dar paso a la ontología estructuralista que se propone.

Así —tomando prestado un ejemplo de Morganti (2011, p.1173)—, la distinción —digamos— entre bosones y fermiones en términos de invariancia en la representación de grupos plantea la dificultad de exigirnos fundamentar [*to ground*] sus propiedades *actuales* en

términos de estas representaciones abstractas. Ello equivaldría a esperar que las propiedades causales de cosas materiales coloreadas pudieran ser reducibles a propiedades generales compartidas por conceptos abstractos como *rojez* (la propiedad de ser rojo) o *amarillez* (la propiedad de ser amarillo).

Sin embargo, las conclusiones anteriores son resistidas por French (2014, p.197), a partir de las siguientes consideraciones. En primer lugar, se señala que el estructuralismo no busca fundamentar la totalidad de las propiedades de —digamos— bosones y fermiones a partir de aquellas invariancias de permutaciones que permiten *presentar* la distinción entre estos tipos de partículas. Propiedades como la masa o la carga de estas partículas no son del tipo que el REO reduciría a las invariancias señaladas. En todo caso, la distinción entre tipos de partículas en estos términos sigue en pie, y de esta forma se puede difuminar la distinción entre lo general y lo particular en lo que respecta a la caracterización en términos estructurales de estos fenómenos. Por otro lado—según French—, la distinción entre lo abstracto y lo concreto resulta sospechosa mientras no se aclare qué se debe entender por *actual* cuando se habla de “partículas *actuales*” o “propiedades *actuales*” en argumentos como el de Morganti, ante esta objeción French afirma que la estructura del mundo (en los términos planteados por el REO) es, de hecho, *actual*.

Vale la pena notar la dificultad que acarrea para el REO la noción misma de *instanciación*, en la medida en que ella es entendida de tal manera que implique un compromiso con los objetos en el sentido robusto que se pretende dispensar. French (2014, p.198) plantea que entender *instanciación* como ‘*hacer manifiesto*’ [*making manifest*] puede ofrecer una salida a esta dificultad. De esta forma, si la distinción entre *instanciado* y *no-instanciado* es entendida como la distinción entre estructura *manifiesta* y estructura *no manifiesta*, la primera de ellas puede entenderse como una reflexión de la segunda.

En la misma línea, una forma natural de entender esta distinción es la que descansa en la idea de que lo concreto está situado en el espacio-tiempo y posee eficacia causal; mientras que lo abstracto no estaría situado en el espacio-tiempo (al menos no en la manera en que lo estaría lo concreto) ni sería causalmente eficaz. Ahora bien, un contraejemplo con el que podemos objetar esta manera de concebir la distinción se basa en consideraciones que emergen de los fenómenos cuánticos, específicamente de la manera en la que las entidades cuánticas se comportan en relación con el espacio-tiempo y la noción de causalidad. A partir de ciertas interpretaciones de la mecánica cuántica se hace a lo menos problemático lidiar con la

espacialidad y con la manera en que estas entidades participarían del orden causal del mundo. Volveremos a este problema más adelante.

2.2 La tesis del colapso

Como hemos visto, para el estructuralismo el contenido de nuestras teorías científicas no es más que aquello que refiere a los aspectos estructurales del mundo, y que son capturados por los modelos que las conforman. Es más, para el REO la realidad misma no contiene nada más allá que lo que pueden capturar estas descripciones estructurales; la ontología del mundo es, entonces, pura o eminentemente estructural. Una de las consecuencias de esta concepción es que —tal como lo vimos en la sección anterior— la distinción entre estructuras matemáticas y estructuras físicas se puede tornar difusa bajo ciertos puntos de vista.

Hay autores que —sin embargo— se muestran dispuestos a aceptar esta consecuencia, y postulan lo que se conoce como la *tesis del colapso*, la cual consiste en afirmar que, dada la ontología estructuralista, podemos sostener que en el nivel fundamental las estructuras físicas terminan por colapsar en estructuras matemáticas. Esta tesis es la consecuencia de la indistinguibilidad entre lo físico y lo matemático que hemos tratado en este capítulo. En particular, presentaremos el argumento que Ladyman y Ross (2007) ofrecen para sostener esta tesis.

Rescato el siguiente fragmento de su obra *Every Thing Must Go*:

Las estructuras físicas existen, pero ¿qué significa esto? Si esto implica sólo la descripción de las propiedades y relaciones de ciertas entidades subyacentes esto nos lleva de vuelta al realismo estructural epistémico. ¿Qué hace a una estructura física y no matemática? Esta es una pregunta que nos negamos a contestar. Desde nuestro punto de vista, no hay nada más que pueda ser dicho acerca de este asunto que no resulte en palabras vacías y que no se aventure más allá de lo que el principio de cierre naturalista¹⁰ permite. La estructura del mundo simplemente es y existe independientemente de nosotros, y la representamos de forma físico-matemática a través de nuestras teorías. (p.158)

¹⁰ Ladyman y Ross definen su *principio de cierre naturalista* como la tesis de que “Cualquier nueva tesis metafísica que sea tomada seriamente en un determinado tiempo *t* debe estar motivada por, y sólo por, la utilidad que ella prestara, en caso de ser verdadera, en mostrar cómo dos o más hipótesis científicas específicas, de las que al menos una es tomada de la física fundamental, en conjunto explican más que por separado” (Ladyman y Ross, 2007, p. 37).

Para ilustrar este punto tomemos un ejemplo que estos mismos autores ofrecen. Según el REO presentar la ontología del mundo que nos describe la relatividad general es presentar el aparato de geometría diferencial y las ecuaciones de campos, para luego explicar la topología y otros elementos del modelo particular que se asume que describe actualmente al mundo; y no hay nada más que decir más allá de esto. Estas estructuras matemáticas son ineliminables e irreducibles y no pueden ser interpretadas en otros términos.

Buena parte de la motivación para adoptar esta tesis proviene de los desarrollos de la física cuántica, en particular, la distinción que se pudiera trazar entre lo abstracto y lo concreto que pudiera parecer natural en otros dominios se torna difusa cuando nos aproximamos a los niveles básicos descritos por esta teoría. Esto último se ve reflejado en cuestiones como la causación o la localización de las partículas en el espacio-tiempo. Nuevamente, tomando prestado un ejemplo que exponen estos autores, consideremos el experimento Bohm-EPR, donde el estado singlete no es capaz de separar las correlaciones entre los resultados en las dos alas del aparato, y por lo tanto no logra satisfacer el principio de la causa común. No tenemos disponible una explicación satisfactoria de cómo operaría la causalidad en esta situación. Otro ejemplo utilizado para ilustrar este punto es la característica de que en la teoría de campos cuánticos no existe direccionalidad absoluta de causación para las interacciones de gauge, en este marco la causalidad se torna aún más oscura.

Por su parte, en cuanto al criterio de concreitud [*concreteness*] basado en la noción de espacio-temporalidad, surge la dificultad de que la estructura del espacio-tiempo es ella misma objeto de investigación física. Recordemos que según la relatividad general el espacio-tiempo es dinámico, y tal dinamismo puede ser recogido por las matemáticas relevantes de la teoría.

2.2 Tratando de esclarecer el *colapso*

Para French (2014), buena parte de la confusión que rodea a este problema proviene de falsas analogías que se dibujan entre el estructuralismo matemático y el REO, y que resultan en una mala comprensión de este último. Muchas de las cuestiones que conciernen al estructuralismo matemático son, en ocasiones, trasladadas ilegítimamente al REO y surgen de esta manera problemas que se consideran amenazan la plausibilidad de esta concepción metafísica.

En primer lugar, caractericemos a grandes rasgos el estructuralismo matemático. Según Reck y Price (2000: 341 –2), podemos identificar tres ideas intuitivas que conforman el corazón

del estructuralismo matemático, a saber: (i) que la matemática consiste primariamente en el estudio de las estructuras; (ii) que esto conlleva la abstracción de la naturaleza de los objetos o individuos; y (iii) que los objetos matemáticos se agotan en aquello que puede ser expresado en términos de las relaciones básicas de la estructura. Ahora bien, es menester mencionar que esta caracterización debe entenderse como una metodología y no como una postura filosófica sustantiva. Esta metodología es consistente con un abanico de posturas epistémicas, semánticas y metafísicas respecto a las matemáticas.

Este estructuralismo es compatible con cierto tipo de eliminativismo que se rige por un *principio de no privilegios* [*claim of no privilege*]: en el caso de que determinada teoría (conjunto de axiomas) pueda ser satisfecha por una variedad de modelos de teoría de conjuntos equivalentes, deben considerarse a cada uno como instanciando la misma estructura. Por ejemplo, si consideramos la conjunción de los axiomas de Dedekind–Peano formulados en lógica de segundo orden en los que se funda la aritmética, tenemos un rango de modelos que los satisfacen, cada uno de ellos es capaz de jugar el rol de números naturales, y ninguno de ellos debe considerarse privilegiado en este respecto (French 2014, p. 204-205).

Existen analogías y des-analogías entre el estructuralismo matemático y el estructuralismo óntico que proponen autores como French. Por un lado, la subdeterminación recién descrita que resulta del principio de no-privilegios aplica igualmente al dominio óntico, teniendo como consecuencia el eliminativismo respecto a los objetos, al menos en tanto estos sean entendidos en un sentido *robusto* (Ibid.)

Por otro lado, en el caso del estructuralismo óntico (a diferencia del estructuralismo matemático) la abstracción no juega ningún rol fundamental. Recordemos la segunda de las ideas intuitivas que caracterizan al estructuralismo matemático. No es el caso que los científicos lleguen a las estructuras que son objeto de su estudio por vía de la abstracción de los elementos intrínsecos que caracterizarían la *naturaleza* de los objetos físicos.

Sin embargo, muchos críticos del REO¹¹ han apuntado a que esta concepción bien enfrentaría la dificultad de tener que hacerse cargo de la postulación de una estructura abstracta, con la consecuencia del colapso ya descrito; o bien de postular una estructura autosubsistente que existiría con independencia de que un sistema concreto que la instanciara. Sin embargo,

¹¹ Cf. Wolff (2011) y Psillos (2006)

ambas críticas surgirían de la idea (errada) de que el realismo estructural óptico asumiría ciertas tesis del estructuralismo matemático que, en realidad, no comparte.

En general, muchas de las dificultades que se le imputan al REO se desprenden de esta confusión entre ambas formas de estructuralismo, y de ello se deriva, también, la confusión que alimenta el problema de la indistinguibilidad entre las estructuras físicas y las estructuras matemáticas en el marco de la ontología estructuralista. Se suele sostener en el marco de esta discusión que cualquier intento por diferenciar estos dos ámbitos requeriría la inclusión de objetos (en el sentido robusto que el REO no aceptaría) en nuestra ontología. Ahora bien, French (2014, pp. 212-218) ensaya una distinción en términos de eficiencia causal y muestra cómo esta distinción no depende de la inclusión de objetos en nuestra ontología.

Podríamos identificar dos problemas principales para dar cuenta de la causación en términos estructuralistas. En primer lugar, se podría objetar que se entiende que aquello que es causa debe distinguirse del efecto en la medida en que lo primero antecede temporalmente a lo segundo: ambos eventos u objetos deben tener la cualidad de ser *inmanentes*, donde *inmanente* se entiende como tener la cualidad de estar en el espacio-tiempo. Ahora bien, se puede acusar al estructuralismo de que estar en el espacio-tiempo es una propiedad no-estructural, y por lo tanto no estaría dentro de las herramientas disponibles para el o la estructuralista a la hora de ofrecer su caracterización de la relación causal.

Por otro lado, razonablemente puede preguntarse al estructuralista por la naturaleza de los *relata* que conforman la relación causal, pues estos son pensados naturalmente como *objetos*, y es justamente éste el elemento que el o la estructuralista pretende dispensar de su ontología.

La sugerencia de French es que, en la medida en que esta relación de causalidad pueda entenderse en términos de dependencia funcional estricta, ella puede articularse en términos de ciertas formas de dependencia entendidas en el marco del estructuralismo; y aún más, esta concepción de causalidad sería aplicable incluso en el contexto de la mecánica cuántica (Idem, p. 225) revisar por qué o cómo. Sin embargo, no termina de quedar claro si es posible trazar una distinción entre lo matemático y lo físico en términos de esta concepción deflacionaria de la causalidad.

De esta manera, French acaba por admitir que no dispone de un marco satisfactorio para trazar la distinción y responder a la tesis del colapso. Sin embargo, insiste en que se ha ganado

terreno al distinguir algunas de las tesis detrás del estructuralismo matemático que no son aplicables al estructuralismo óntico que él defiende, y señala que las ontologías basadas en objetos enfrentan dificultades similares a la hora de distinguir lo abstracto de lo concreto (Idem. p. 230).

2.2 El colapso y la representación científica

El problema del colapso, o de la indistinguibilidad de las estructuras físicas y matemáticas, se ha tratado principalmente teniendo en cuenta su arista ontológica, enfatizando las implicancias realistas que ésta tendría acerca de las entidades matemáticas. Sin embargo, esta tesis también repercute en el problema de la representación científica: si asumimos que las estructuras físicas colapsan en estructuras matemáticas se siguen consecuencias problemáticas a la hora de examinar el rol representacional que jugarían las matemáticas en el contexto de las ciencias físicas. Vimos que las consideraciones presentadas en la sección anterior, si bien logran esclarecer algunos aspectos de la relación entre estructuras físicas y matemáticas en el contexto de una ontología estructuralista, no son suficientes para ofrecer una alternativa satisfactoria a la tesis del colapso, y, por extensión, debemos entender que tampoco logra esclarecer los términos en los que se da la relación representacional entre estructuras físicas y matemáticas.

En el marco del *colapso*, la respuesta bruta a la pregunta “¿Qué relación existe entre las estructuras físicas y matemáticas que aparecen en nuestras teorías científicas?” sería que entre estas estructuras existe una relación de *identidad*. Si cabe aplicarlo en este contexto, el principio de identidad de los indiscernibles nos dice que dos entidades que comparten todas sus propiedades —es decir, son indistinguibles— son metafísicamente idénticas. De la indistinguibilidad de las estructuras físicas y matemáticas se desprende la tesis del colapso, y de la tesis del colapso la hipótesis del universo matemático con su ontología pitagórica. Ahora bien, al igual que con la hipótesis del universo matemático, debemos resistirnos a aceptar la hipótesis de la identidad de las estructuras físicas y las estructuras matemáticas relevantes, y debemos entender esta relación más bien en términos representacionales.

En este sentido, la teoría que ofrezcamos debe ser tal que nos permita dar cuenta de la relación entre estructuras físicas y matemáticas en términos *representacionales*, donde estas últimas funcionan como vehículo representacional de las primeras. Esto es, afirmar que las estructuras matemáticas *representan* determinados sistemas físicos que conforman el dominio

de las teorías en las que estas aparecen. Esto, en el caso de que quisiéramos sostener un realismo acerca de las estructuras físicas, como es el caso del REO.

Sin embargo, afirmo que tal posibilidad no está disponible para el o la adherente de esta concepción, pues el REO no dispone de una alternativa del todo satisfactoria a la tesis del colapso, lo que resulta en un compromiso con la tesis de la identidad de estructuras físicas y matemáticas teóricamente relevantes. En cambio, si dispensamos nuestro compromiso realista con las estructuras que presentan nuestras teorías científicas, no tenemos por qué adoptar la tesis del colapso, y es posible construir una teoría de la representación que recoja las intuiciones estructuralistas presentadas en el primer capítulo sin comprometernos con una ontología estructuralista acerca del mundo y sin reificar las estructuras que funcionan como vehículo de representación.

Se podría objetar que se cae en una petición de principios al exigirle al REO una teoría de la representación cuando éste sostiene la tesis de la identidad entre estructuras físicas y matemáticas, pues donde hay identidad no hay representación. A esto se puede contestar apelando al hecho de algunos de los adherentes del REO ha desarrollado teorías de la representación basadas en la noción de morfismos parciales, aceptando de cierta forma la necesidad de tal explicación¹².

El objetivo del próximo capítulo será ofrecer una teoría de la representación científica que dé cuenta del carácter estructural de las teorías científicas y de los vehículos representacionales que las conforman. Argumentaré que debemos adoptar una actitud agnóstica respecto a las estructuras físicas que ellas suponen representar, esto es, plantear que la representación de las estructuras matemáticas no se da (necesariamente) en virtud de un mapeo matemático entre éstas y una putativa estructura física del mundo, evitando así un compromiso con la tesis de que el mundo está físicamente estructurado, o de que la realidad es fundamentalmente estructural. El desafío es, entonces, articular una propuesta que recoja la concepción estructuralista de la representación científica sin asumir que ella se basa en un mapeo de la (putativa) estructura física del mundo, para ello debemos encontrar un sustituto a la estructura física para que ocupe el lugar de aquello que es mapeado en las teorías (el *target* de la representación), y que al mismo tiempo sea capaz de entregarnos una explicación satisfactoria al fenómeno del éxito de nuestras teorías científicas en su dimensión empírica.

¹² Cf. French y Ladyman (1997)

Capítulo 3

Una propuesta deflacionaria

En el capítulo anterior vimos algunas buenas razones para adoptar una concepción anti-realista acerca de las estructuras presentes en nuestras teorías y una concepción representacional acerca del rol que las estructuras matemáticas cumplen en ellas. Surge, así, el desafío de elaborar una concepción de la representación científica que sea estructural y anti-realista al mismo tiempo. Si renunciamos a postular estructuras en el mundo, aún debemos explicar qué y cómo representan las estructuras matemáticas que constituyen nuestras teorías.

Este último desafío es recogido de alguna manera por las empresas empiristas agrupadas bajo la etiqueta de *empirismo estructural* en su intento por dar cuenta de la relación que existe entre las teorías científicas y el mundo. Entre éstas se cuentan las propuestas de Bas Van Fraassen (1980, 1989, 2008) y Otavio Bueno (1997, 1999, 2011). En el mismo sentido, me interesa rescatar la *concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas*, que ha sido desarrollado por Bueno *et al.* (Bueno y Colyvan, 2011; Bueno y French, 2018) en un contexto ligeramente distinto, pero estrechamente relacionado (el problema de la aplicabilidad de las matemáticas). Propongo que una cuenta de la representación científica *deflacionaria*, basada en la concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas, nos permite explicar cómo las estructuras matemáticas que conforman nuestras teorías pueden representar a cierta clase de fenómenos relevantes sin que ellas supongan una reificación de las estructuras ni una ontología estructural.

La estructura de este capítulo es la siguiente: en primer lugar, presentaré las algunas de las versiones empiristas del estructuralismo y las dificultades que enfrentan al intentar dar cuenta tanto de la relación entre teoría y mundo, como de la representación científica, sin comprometerse con una ontología estructural. A continuación, mostraré de qué manera es posible mitigar tales dificultades adoptando una teoría de la representación científica basada en la concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas. Finalmente, argumentaré que conviene adoptar un estructuralismo de tipo semántico, que reconozca el rol central que poseen las estructuras en el ámbito representacional; pero que adopta una actitud agnóstica respecto a las dimensiones ónticas y epistémicas del estructuralismo.

3.1 Representación sin reificación

El desafío de ofrecer una concepción de la representación científica que nos permita mantener al mínimo nuestros compromisos metafísicos ya ha sido asumido por algunos defensores contemporáneos del empirismo. Uno de los asuntos centrales en filosofía de las ciencias es la de esclarecer cómo se da la conexión entre las teorías y el mundo. En este sentido el problema de la representación científica se vuelve central para el debate entre realismo y anti-realismo, pues veremos que la respuesta que ofrezcamos a esta interrogante debe ser tal que nos explique cómo las teorías —en tanto aparatos representacionales— son capaces de ofrecer una descripción (aproximadamente) verdadera del mundo; o bien, cómo se construyen las estructuras que sirven de base empírica de las teorías.

Ya expusimos en el primer capítulo cuáles son las motivaciones que llevan a muchos a asumir una concepción estructuralista basada en la concepción semántica de las teorías científicas. Según esta concepción, las teorías científicas son entidades extralingüísticas conformadas por una determinada clase de modelos. Además, vimos que en este marco teórico los modelos son concebidos como estructuras matemáticas que representan en función de alguna clase de mapeo matemático (homomorfismos, isomorfismos, homomorfismos parciales, etc.).

La representación científica tiene como *objetivo a representar* [*target*] determinados fenómenos, sistemas u objetos relevantes. Sin embargo, un mapeo matemático —tal como el isomorfismo— es una relación que sólo se da entre dos estructuras; en primera instancia, plantear que un determinado fenómeno es isomórfico a una estructura matemática es un error categorial: un fenómeno no es una estructura (al menos no en un sentido simple y directo). Por lo tanto, el empirista estructural se enfrenta al desafío de tener que explicar en qué sentido se puede hablar de que determinado fenómeno es mapeado por las estructuras que funcionan como modelos de una teoría.

Recordemos que, según la concepción estructuralista de la representación, las teorías representan a través de una jerarquía de modelos que van desde los modelos empíricos hasta los modelos teóricos de altos niveles de abstracción. A través de estos modelos hay preservación de estructura o estructura compartida, es decir, es posible identificar morfismos entre las estructuras de los distintos niveles de la jerarquía. Es en virtud de este rasgo de las

estructuras que decimos que los modelos teóricos más abstractos, o las teorías —en general—, describen el mundo¹³, o bien, son empíricamente adecuadas¹⁴.

Postular relaciones de mapeo entre estas estructuras que forman parte de la jerarquía y que hacen de modelos de determinada teoría no es problemático y hemos ofrecido en pocas palabras una sencilla descripción de cómo ellas funcionan. Postular, en cambio, relaciones de mapeo entre —por ejemplo— subestructuras empíricas de una teoría y determinado fenómeno que ésta pretende estudiar, o entre estructuras teóricas y ciertas porciones del mundo que son su dominio relevante, es otra historia.

Respecto a este problema, el estructuralismo realista podría ofrecer la siguiente explicación: Es posible mapear determinadas porciones de mundo a través de estructuras matemáticas porque el mundo *instancia* o *exhibe* determinada estructura, por lo tanto, las estructuras abstractas que forman parte de la teoría a través del mapeo recogen esta estructura que se encuentra instanciada en el mundo.

Sin embargo, esta concepción no está exenta de problemas. En primer lugar —y tal como desarrollamos en el capítulo anterior— el REO se enfrenta con el problema de explicar cómo distinguir entre estructura física y matemática, lo que termina por dar paso a la *tesis del colapso* y a la *tesis del universo matemático*, lo que equivale a una reducción al absurdo para quienes no tenemos fuertes inclinaciones metafísicamente inflacionarias respecto a la ontología de las matemáticas.

Además, debemos tomar en cuenta que el mecanismo de representación en discusión asume que la representación se da *a través* de una jerarquía de estructuras, y no en un mapeo directo entre la teoría (los modelos teóricos) y el aspecto o porción del mundo relevante que conforma el dominio de ésta ¿Dónde debemos buscar, entonces, este mapeo en el que se conecta la teoría con la realidad? La respuesta natural es que esta conexión se da en el nivel básico de la jerarquía, y que su producto son las subestructuras empíricas de las teorías. Sin embargo, aún podemos preguntarnos de qué manera estas estructuras empíricas capturan la

¹³ Esto, en términos de la semántica realista tradicional. Como hemos mencionado, la concepción estructuralista necesita de una semántica que no se base en la noción de correspondencia entre enunciados y el mundo, sino en una que sea capaz de recoger el tipo de relación semántica que se da entre modelos o estructuras.

¹⁴ La noción de adecuación empírica es el sustituto empirista que viene a ocupar el rol que juega la noción de *verdad aproximada* para el realismo. Ésta es definida en términos estructurales como la embedabilidad de las estructuras que corresponden a los modelos empíricos de la teoría, en los modelos teóricos que definen a la misma (cf. Van Fraassen 1980; Bueno 1997)

estructura física relevante para la teoría; en este punto, es posible plantear que son las mediciones pertinentes las que hacen posible construir estructuras empíricas que recojan más o menos fielmente las estructuras físicas que funcionan de *target* de estos modelos. No obstante, esta movida constituye una petición de principios, pues es justamente la idea de que la naturaleza misma constituye una estructura relacional la que está en cuestión.

Por último, esta concepción requeriría objetos del lado físico del mapeo, y esta opción no está disponible para aquellas formas de REO que son *eliminativistas* acerca de los objetos (cf. Ladyman 1998; French 2014). Los aparatos formales utilizados para representar las estructuras tienen como componente fundamental a los objetos, y toda la estructura relacional se construye sobre ellos. El REO no puede hacer uso de estos recursos sin entrar en conflicto con su ontología que dispensa los objetos y postula en su lugar a las estructuras como primitivos¹⁵.

Por su parte, para los y las empiristas la estructura no debe buscarse en el mundo, no se espera que las teorías representen a través de un mapeo del mundo físico en una correlación de uno a uno con las estructuras que conforman nuestras teorías. Recordemos que, para el empirismo, las teorías no necesitan ser verdaderas, sino sólo empíricamente adecuadas; en consecuencia, podemos relajar las expectativas que exigen de la representación científica (estructural) un mapeo del mundo inobservable y su estructura.

El *target* de la representación científica para el empirismo es, en cambio, el fenómeno observable. Por lo tanto, no necesitamos acudir a maniobras metafísicas que nos permitan atribuirle estructura al mundo físico, ni mucho menos postular una ontología fundamentalmente estructural —como la del REO— para explicar cómo las teorías se relacionan estructuralmente con el mundo.

En todo caso, el desafío no desaparece, sino que sólo cambia de signo: ya no tenemos que ofrecer una explicación de cómo las teorías pueden mapear matemáticamente un mundo que pareciera carecer de una estructura intrínseca, pero aún debemos explicar cómo son capaces de capturar los fenómenos relevantes, que a primera vista igualmente carecen de estructura. ¿Cómo puede un fenómeno entrar en algún tipo de morfismo con el modelo que lo representa?

La respuesta del empirista es apelar a los factores pragmáticos de la representación, esto es, incluir al usuario del modelo como parte constituyente de la representación: “ningún

¹⁵ Un desarrollo más detallado de este argumento puede encontrarse en Bueno y Arenhart (2015)

vehículo puede representar a ningún *target* excepto en el sentido de ser usado como, o que se le considere como, haciendo este trabajo o jugando este rol para nosotros” (Van Fraassen, 2008 p. 253).

La distinción de fondo que opera en esta propuesta es la que se puede trazar entre *concepciones sustantivas* de la representación y *concepciones deflacionarias* de la misma. A grandes rasgos, podemos entender por *concepciones sustantivas de la representación* como una familia de visiones acerca del tema que se caracteriza por considerar la representación una relación diádica que se fundamenta en alguna o algunas propiedades objetivas que poseen tanto los vehículos como los *target* involucrados en la representación; **mientras que las *concepciones deflacionarias de la representación* se caracterizan por incluir un tercer factor en la relación representacional, la representación sería una relación triádica que involucra un *target* a ser representado, un *vehículo* que cumple el rol de representar, y un *sujeto* que tiene la intención de representar determinados aspectos del *target* a través de ciertas propiedades del vehículo.**¹⁶

Relacionada con esta última distinción está la tesis de que toda representación es una representación de algo *como* siendo de determinada manera [*representation as*], es decir, en la acción de representar el sujeto atribuye al *target* de la representación determinadas características que se pretende sean recogidas por el vehículo representacional. En este sentido debemos distinguir entre la acción de denotar, que sería fundamentalmente *extensional*; y la acción de representar algo, que inevitablemente acarrea contenido *intensional*. La representación —por tanto— siempre se enmarca en un marco teórico donde las creencias del sujeto y sus intenciones juegan un rol fundamental. La representación es siempre de determinados aspectos del *target* y desde determinada *perspectiva* del usuario del modelo.

Las anteriores consideraciones nos permiten sostener que, si bien originariamente el *target* de las representaciones científicas son determinados fenómenos o sistemas físicos, las teorías participan de este esquema a través del mapeo entre sus estructuras superiores (modelos teóricos) y los modelos de datos que son construidos por los científicos para representar el fenómeno. Estos modelos de datos son el resultado de las mediciones y detecciones relevantes luego de ser corregidas y abstraídas de manera que puedan ser útiles para la teorización científica. Los científicos construyen modelos de datos todo el tiempo, generalmente como

¹⁶ Cf. Suárez (2015)

resultado de experimentos conscientemente diseñados para modelar tal o cual fenómeno en consonancia con la teoría en la cuál se cree que éste se circunscribe.

No obstante, al reemplazar al fenómeno o sistema físico por los modelos de datos contruidos experimentalmente como el *target* de la representación científica, se corre el riesgo de ser blanco de lo que se ha llamado la *objeción de la pérdida de realidad*, Van Fraassen (ibid.) imagina que un objetor se podría expresar de la siguiente manera:

En suma, lo que planteas es que el único «calce» que se da es entre los modelos de datos y los modelos teóricos. Entonces, la teoría no se confronta con los fenómenos observables: aquellas cosas, eventos y procesos que están ahí afuera; sino sólo con ciertas representaciones de ellos. La adecuación empírica no es adecuación a los fenómenos puros y simples, sino que a los fenómenos ¡tal como son descritos! (p.258)

La respuesta a esta objeción se deriva precisamente de las consideraciones pragmáticas de la representación de las que veníamos hablando. Toda representación es la representación de *alguien* representando a algo *de determinada manera*. Por lo tanto, la representación de los fenómenos implica siempre que estos son representados de determinada manera, esto es, tal como son descritos por el sujeto. Según esta concepción de la representación las siguientes dos proposiciones son, en realidad, la misma: tanto el plantear que (i) la teoría es adecuada al fenómeno; como que, (ii) es adecuada al fenómeno tal como es representado (ibid.). Estas proposiciones en conjunto formarían una *tautología pragmática*, es decir, que tomadas en conjunto no pueden ser negadas consistentemente.

Sin embargo, esta concepción de la representación basada en las consideraciones pragmáticas recién expuestas no está exenta de problemas y ha sido objeto de controversia durante los últimos años¹⁷. La principal crítica apunta a que el usuario de un modelo no necesita contraer un compromiso doxástico con él, por lo tanto, las proposiciones (i) y (ii) no resultarían en una tautología pragmática (Nguyen 2016). Representar es un acto distinto al de aseverar, el usuario de un modelo puede utilizarlo para representar un fenómeno sin tener la creencia de que éste lo hace adecuadamente. El científico no necesita adquirir un compromiso epistémico con la exactitud de la representación del modelo que ocupa para representar determinado fenómeno para que el acto de representación se dé efectivamente: los modelos científicos suelen incluir idealizaciones deliberadas que los alejan de una representación *precisa* de los fenómenos, al mismo tiempo que los modelos de datos son manipulados —en el sentido antes

¹⁷ Cf. Nguyen y Frigg (2020), Nguyen (ibid.), Gentile (2017), Borge y Lucero (2018).

mencionado— en su proceso de construcción desde lo que se podría entender como *los datos en bruto*. Si no es posible sostener la equivalencia pragmática que se postula que resulta del acto de representar, **entonces la solución de Van Fraassen al problema de la pérdida de realidad tampoco lo es.**

Según Nguyen (ibid.), esto deja a las y los partidarios del empirismo dos opciones de posturas que adoptar respecto a la representación: por un lado, renunciar a ofrecer una concepción estructural de la representación; o bien, por otro, adoptar una clase de empirismo radical que postularía que las teorías no representan fenómenos, sino meramente modelos abstractos que resultan de nuestra actividad subjetiva. Por mi parte sostengo que no es necesario renunciar a la concepción estructural de la representación ni adoptar un empirismo radical para sostener una concepción de la representación que no *reifique* los vehículos representacionales ni se comprometa con alguna clase de ontología estructural. Podemos adoptar una concepción inferencial de la representación que, de manera análoga al tratamiento que se le da a la aplicabilidad de las matemáticas en general, nos ofrezca una explicación de cómo las estructuras matemáticas son utilizadas para representar los fenómenos relevantes que estudian las ciencias, y de esta manera ofrecer respuesta al problema que hemos planteado.

3.2 Concepción inferencial de la representación

La concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas surge como una extensión de las teorías del mapeo matemático, en un intento por subsanar algunas de las deficiencias que esta última enfrenta. Esta concepción, desarrollada por el filósofo Otavio Bueno junto con algunos colaboradores¹⁸, plantea que la aplicación de las matemáticas debe entenderse como ejerciendo un rol fundamentalmente inferencial, se plantea que al sumergir [*by embedding*] ciertos rasgos del mundo empírico en una estructura matemática, es posible extraer inferencias que de otro modo sería excesivamente complejo de hacer (Bueno y Colyvan 2011, p. 352).

Como se mencionó, esta concepción de la aplicación de las matemáticas se basa en las teorías del mapeo¹⁹. Las teorías del mapeo intentan dar una cuenta estructural de la aplicación de las matemáticas al mundo físico, se plantea que la utilidad de las matemáticas se explica de

¹⁸ Bueno ha publicado sobre este tema en conjunto con Mark Colyvan (Bueno y Colyvan 2011), Steven French (Bueno y French 2018) y Cristian Soto (Soto y Bueno 2019)

¹⁹ Algunas de las teorías que se pueden agrupar bajo esta etiqueta son aquellas desarrolladas por Pincock (2004), Baker (2003), Balaguer (1998) y Leng (2002)

manera análoga a la utilidad que presenta un mapa: en ambos casos existiría una conservación de estructura que nos permite navegar en aquello que es modelado. Sin embargo, algunas dificultades emergen de esta concepción, las que tienen que ver principalmente con el exceso o defecto de estructura en alguna de las dos partes del mapeo²⁰.

En orden de superar estas dificultades, la concepción inferencial integra factores pragmáticos y contexto-dependientes en un mapeo que, de otro modo, sería puramente estructural. Estos factores son integrados a través de un esquema que consiste en tres etapas o dimensiones de la aplicación y que consisten en los siguientes:

- (i) *Inmersión*: se establece un mapeo entre un determinado escenario empírico y una estructura matemática conveniente. En este punto es relevante destacar que el escenario empírico es mapeado sólo en determinados aspectos que son los relevantes para los efectos de la aplicación que se busca dar; de igual manera, existe una variedad de estructuras matemáticas que son capaces de mapear el escenario empírico en cuestión, y la elección de la estructura es altamente sensible a factores contextuales.
- (ii) *Derivación*: se derivan las consecuencias del formalismo matemático, usando la estructura matemática elegida en la *inmersión*.
- (iii) *Interpretación*: se interpretan las consecuencias matemáticas resultantes de la *derivación* en los términos del escenario empírico que se abordó en la etapa de *inmersión*. Una aclaración importante es que el mapeo realizado en esta etapa no necesita ser el inverso del mapeo realizado en la primera etapa.

Como se puede ver, es fácil trazar paralelismos entre esta concepción de la aplicación de las matemáticas y la concepción estructural (empirista) de la representación científica. Recordemos, en primer lugar, que bajo la concepción estructuralista de la representación la pregunta por la representación científica de las teorías colapsa en la pregunta por la aplicabilidad de las matemáticas: nuestras teorías son una familia de modelos, y estos modelos deben ser entendidos como estructuras matemáticas; por lo tanto —podemos extrapolar—, responder a la pregunta de cómo las teorías son capaces de representar cierta porción del mundo o cierta clase de fenómenos, equivale en buena parte a responder cómo son las matemáticas capaces ser aplicadas al mundo físico, en este caso, la aplicación por la que nos preguntamos

²⁰ Un desarrollo más detallado de las dificultades que afrontan las teorías del mapeo puede encontrarse en Bueno y Colyvan (ibid. pp. 348-352)

es aquella que cumple un rol representacional y es utilizada por los científicos en la construcción de modelos y teorías.

De esta manera, la inclusión de los factores pragmáticos y contexto-dependientes en el mapeo matemático del mundo físico puede arrojar luz del proceso análogo que se produce en la representación científica. Como vimos, según las concepciones deflacionarias de la representación, no basta con dar cuenta de propiedades o características presentes en el vehículo representacional para elucidar la manera en que éste representa a su *target*, sino que esta representación siempre está mediada por un sujeto (o usuario de un modelo) que busca representar al *target* en determinados aspectos, y enmarcado dentro de ciertos supuestos teóricos.

En la etapa de construcción de modelos científicos tenemos entonces una inmersión de cierta estructura matemática en un determinado escenario teórico. Esta inmersión no debe ser interpretada como un mapeo —podríamos decir— realista de determinada estructura física presente en el mundo, sino como una guiada por términos pragmáticos en vistas a determinados objetivos. Por ejemplo, en el *setting* de un determinado experimento se puede *sumergir* determinado escenario empírico en una estructura matemática con el fin de fijar determinadas variables de la estructura, lo que se traduciría en el resultado de determinadas mediciones desde el punto de vista de la o el científico. Aquí, es el *setting* experimental el que nos sugiere la estructura en la que se sumerge el escenario empírico y el posible mapeo resultante. Este *setting* experimental ciertamente no es neutro, sino que está modelado por las intenciones y expectativas de la o el científico que diseña el experimento, esperando obtener determinadas *mediciones* que corresponderían a determinadas variables previamente interpretadas en el contexto de una teoría.

Por otro lado, la estructura elegida para sumergir el escenario empírico varía si las intenciones o expectativas de la o el científico que diseña el experimento también lo hace. Por ejemplo, un mismo evento, digamos el movimiento de cierto astro en el firmamento, puede ser sumergido en dos —entre otras— estructuras distintas: por un lado, en las estructuras formales del modelo ptolemaico; o por otro, en las que corresponden al modelo copernicano. La elección de la estructura en la que se sumerge el escenario empírico es guiada por factores contextuales (históricos), pragmáticos, etc.

Luego, son las inferencias que es posible extraer en la etapa de *derivación* las que eventualmente nos podrían conducir a hacer predicciones a partir del formalismo matemático utilizado en la fase de inmersión.

La *interpretación* de estas inferencias nos trae nuevamente de vuelta al escenario empírico mapeado en un inicio. Las inferencias extraídas en la etapa anterior son interpretadas físicamente y aplicadas al escenario en cuestión. Nuevamente, este mapeo no necesita ser interpretado de manera realista, sino que está sujeto a las mismas consideraciones pragmáticas y contextuales que el primer mapeo.

El proceso completo puede ser tomado como una respuesta a la pregunta de cómo son los modelos de datos representativos de determinado fenómeno. Los modelos de datos son el resultado de la inmersión de determinado fenómeno o escenario empírico en una estructura matemática, donde las variables son fijadas por procesos de medición y detección, y la adecuación general de la estructura en la que el fenómeno es sumergido es evaluada por la coherencia con el conjunto de estructuras que son utilizadas para representar el dominio relevante, y —sobre todo— la capacidad que ésta nos otorga para derivar inferencias útiles para predecir y manipular el fenómeno, en general. En esta evaluación también son considerados otro tipo de valores como la sencillez, elegancia, conservadurismo, etc., tal como se considera que ocurre en general en ciencias cuando se debe escoger una teoría por sobre otra. De esta manera, es claro cómo funciona el proceso de imputarle estructura a cierto fenómeno: el escenario empírico es sumergido en una estructura matemática según los criterios especificados, y su adecuación es evaluada según la capacidad que las inferencias extraídas a partir del formalismo matemático tengan para convertirse en predicciones (ojalá novedosas) cuando éstas son interpretadas físicamente.

De esta manera podemos ofrecer una teoría de la representación científica que, en primer lugar, se mantiene al margen de cualquier compromiso ontológico con una (putativa) estructura del mundo, sea esta fundamental —en el sentido de una estructura primitiva, como la que postula el REO—, o pre-teórica —entendida como una estructura independiente de las teorías y conceptos con las que el sujeto describe el mundo. El sujeto juega un rol importante en el proceso y se integran las consideraciones pragmáticas y contextuales que se encuentran tanto en la concepción inferencial de la aplicación de las matemáticas como en la concepción deflacionaria de la representación. En este sentido, podemos afirmar que somos capaces de ofrecer una teoría empirista de la representación.

Este empirismo —sin embargo— no es radical, pues aún se propone ofrecer una representación de los fenómenos y no claudica en la búsqueda por criterios adecuación de la representación científica de carácter objetivo o —al menos— intersubjetivo. El arbitrio en esta concepción es controlado por los criterios de adecuación que nos permiten discernir si las expectativas y creencias sobre las que se construyen los modelos son correspondidas por los fenómenos al contrastar las inferencias que se derivan de las estructuras propuestas para representar al fenómeno, en conjunto con la interpretación física de éstas, con el comportamiento efectivo del fenómeno. Tenemos, por lo tanto, una respuesta a la *objeción de la pérdida de realidad*: la teoría se confronta con los modelos observables a través de la evaluación de la adecuación de las estructuras en las que se sumerge el escenario empírico y que dan paso a los modelos de datos, esta evaluación se da en términos de la capacidad que estas estructuras nos otorgan para extraer inferencias físicamente relevantes acerca del escenario empírico en cuestión.

Por último, esta teoría de la representación es estructural y se conjuga naturalmente con una concepción *semántica* de las teorías científicas. Desde este punto de vista, las teorías pueden ser concebidas como una familia de modelos, cuya adecuación empírica está dada por alguna relación de morfismo (parcial) entre sus modelos teóricos y los modelos de datos construidos sobre un dominio relevante. Los modelos de las teorías pueden ser interpretados como estructuras matemáticas que se relacionan fundamentalmente a través de morfismos (parciales), y que en su polo empírico representan imputándole estructura a los fenómenos a través de un proceso de inmersión, derivación e interpretación de alguna estructura matemática escogida para representarlos teniendo en cuenta los factores pragmáticos y contextuales introducidos por el sujeto o el usuario del modelo en cuestión.

3.3 El estructuralismo semántico, un esbozo

Me gustaría caracterizar el estructuralismo que se propone en esta concepción como un estructuralismo *semántico*, el cual se compromete con las siguientes tesis:

- (i) Las teorías científicas deben entenderse como una familia de modelos
- (ii) Los modelos que conforman las teorías son, fundamentalmente, estructuras matemáticas.

- (iii) La representación científica es fundamentalmente estructural, y se basa en morfismos (parciales) entre estructuras.
- (iv) Las ciencias representan los fenómenos sumergiéndolos en estructuras matemáticas que atienden al contexto y los factores pragmáticos de la representación.

Así, reinterpretamos el *motto* estructuralista «todo lo que conocemos es la estructura» atendiendo a la dimensión semántica de la concepción estructuralista: «todo lo que representamos es vía estructuras» (en el contexto del problema de la representación científica). Pero esta propuesta no se limita a tomar parte en el debate de la representación científica, sino que tiene consecuencias para el debate del realismo científico. La concepción que hemos desarrollado es empirista, pues no requiere de compromisos metafísicos con una estructura en el mundo para explicar la representación y la estructura de las teorías científicas, en este sentido esta concepción de la representación es un caso para el empirismo en la disputa entre realismo y anti-realismo.

Para el estructuralismo semántico el producto de la actividad científica son fundamentalmente representaciones estructurales que nos permiten modelar los fenómenos y —a partir de esto— ofrecer predicciones e intervenir en ellos para manipularlos con determinados fines. Estas representaciones no necesitan ser interpretadas de manera realista, pues el proceso de *inmersión*, *derivación* e *interpretación* nos explica cómo se puede representar con estructuras matemáticas un fenómeno físico sin asumir una estructura física propia del fenómeno. La representación estructural es —en consecuencia— una representación fundada esencialmente en un rol *inferencial*, donde no es (necesariamente) la (putativa) estructura del mundo la que nos guía en el modelamiento de los fenómenos, sino que son los factores pragmáticos y contextuales los que nos permiten imputarle o proyectar estructura en los fenómenos y así integrarlos en el edificio teórico que construimos sobre determinado universo que corresponde a una clase de fenómenos.

Es oportuno aclarar que la actitud que se propone adoptar frente a las distintas ontologías que se postulan del mundo es de un sano agnosticismo. No es un ateísmo que niegue que el mundo es de tal o cuál forma, pienso, sobre todo, en la posibilidad de una ontología estructuralista: parece natural emparejar esta propuesta con la creencia en un mundo fundamentalmente estructural, adquiriendo un compromiso con las estructuras que postulan nuestras mejores teorías científicas; sin embargo, como vimos, esta ontología presenta

dificultades, sobre todo cuando tiene que dar cuenta de la relación entre la estructura fundamental del mundo y los modelos matemáticos que están por ella en nuestras teorías. El REO es la forma de realismo más deflacionario y sofisticado que poseemos, pero no es necesario comprometerse con una ontología estructural para explicar el rol que juegan las estructuras en los productos científicos tales como los modelos y teorías.

También puede resultar natural asociar esta concepción con un estructuralismo que consiste en plantear que nuestro conocimiento científico se limita a la estructura. Existen por lo menos dos formas de interpretar esta propuesta: por un lado, si la interpretamos de manera realista tenemos lo que Ladyman (1998) ha llamado *realismo estructural epistémico*, y consiste en postular que nuestras mejores teorías científicas son aproximadamente verdaderas en su contenido estructural; por otro, si ofrecemos una interpretación más deflacionaria podemos entender que el conocimiento que nos entregan nuestras teorías es de carácter estructural, sin que ello implique una estructura presente en el mundo sino sólo que las ciencias representan a los fenómenos empíricos como sumergibles [*embeddable*] en determinadas estructuras tal como lo hace Van Fraassen (2008, p. 238). Naturalmente se prefiere esta última interpretación, lo que conocemos a través de las teorías son los fenómenos y las teorías son poderosas herramientas inferenciales que nos permiten predecirlos y manipularlos. En todo caso, debido a esta ambigüedad es que antes que el tradicional «todo lo que conocemos es la estructura» me parece más adecuado el *slogan* «todo lo que representamos es vía estructuras», el que también es más informativo.

Otro aspecto importante involucrado en esta discusión es el de la ontología de los vehículos usados en el acto de representar: ¿qué tipo de entidades son aquellas que son usadas para representar los fenómenos relevantes para la investigación científica? En el marco teórico que estoy proponiendo se defiende que los aparatos representacionales usados en la representación científica son fundamentalmente estructuras matemáticas —tales como estructuras de teoría de conjuntos, estructuras de teoría de grupos o ecuaciones diferenciales²¹. Esto nos deja dos opciones respecto al problema de la ontología: bien estas estructuras matemáticas son entendidas de manera platónica; o bien, estas estructuras matemáticas son entendidas como estructuras nominales abstractas. En el espíritu por evitar la reificación de las

²¹ Por su puesto, existen diversos tipos de vehículos representacionales —más allá de las estructuras matemáticas— que son utilizados en ciencias y que pueden funcionar como modelos de una teoría. Sin embargo, sostengo que estos pueden igualmente, y en principio, ser reconstruidos como estructuras matemáticas para efectos analíticos.

estructuras, la postura más natural es asumir un nominalismo respecto a las estructuras que funcionan de vehículos representacionales, y la concepción aquí desarrollada puede hacer frente perfectamente al problema de la representación sin asumir que las estructuras matemáticas empleadas tienen algún lugar en la ontología del mundo. Es en virtud de esto último que podemos evitar dilemas tales como el que nos presenta la *tesis del colapso* que presentamos en el segundo capítulo.

Teniendo todo esto en cuenta es que definiría al estructuralismo semántico como la postura que propone que el producto de las ciencias son representaciones de carácter fundamentalmente estructural basadas en modelos que son aplicados inferencialmente a los fenómenos relevantes de un dominio determinado. Esta definición es compatible con una concepción empirista de la ciencia, y una concepción nominalista de las estructuras matemáticas que evita la reificación tanto del vehículo representacional (las estructuras matemáticas) como de la estructura proyectada sobre el *target* de la representación científica (los fenómenos).

Conclusión

Este trabajo se puede dividir en tres grandes momentos o etapas que corresponden con los tres capítulos que lo conforman. En un primer momento, en una etapa que podríamos pensar como descriptiva o de marco teórico, se introduce la problemática que surge de la intersección de los debates del realismo científico y la representación científica a partir de los desarrollos relevantes para el argumento de este trabajo que se han ofrecido en estos campos.

La etapa que corresponde al segundo capítulo constituye la parte crítica de este trabajo, donde, a partir de la problemática de la distinción entre estructuras *físicas* y *matemáticas*, planteo que el REO es incapaz de ofrecer una cuenta satisfactoria de la representación científica en los términos estructurales que se asumen en el debate.

En el tercer y último momento de este trabajo, se desarrolla la propuesta que me propongo defender para el problema expuesto; valiéndome de herramientas que tomo prestadas de la concepción inferencial de la aplicación de las matemáticas, propongo que se adopte una concepción semántica del uso de las estructuras en ciencias, donde las estructuras que conforman nuestras teorías científicas son pensadas antes que todo como vehículos representacionales que establecen un vínculo con el mundo en función de la adecuación que ellas poseen para extraer inferencias acerca de los fenómenos relevantes para el contexto científico en cuestión. De esta manera, ofrezco un marco coherente a partir del cual es posible reconstruir los productos de la actividad científica (teorías, modelos, etc.) sin asumir un compromiso con una determinada ontología, compromiso que, de todas maneras, no es recomendable asumir dada la crítica desarrollada en este trabajo.

A lo largo de este trabajo se ha planteado exitosamente una problemática que yace entre dos de los temas más relevantes dentro del campo de la filosofía de las ciencias: el problema de la representación científica y el problema del realismo científico. Se han caracterizado pertinentemente las aproximaciones estructuralistas que existen en la literatura para la ontología y la semántica de las teorías científicas. Además, se ha elaborado una crítica novedosa a la aproximación ontológica del estructuralismo científico (el REO) en base al problema de la distinción entre estructuras físicas y matemáticas, y las consecuencias que acarrea asumir la *tesis del colapso* en vistas al problema de la representación científica. Por último, se ha elaborado un marco teórico para la representación científica que es compatible con una postura agnóstica con respecto a la ontología del mundo, y que supera algunas de las

dificultades que otras propuestas empiristas presentes en la literatura enfrentan. Este marco, además, se emplean herramientas que son utilizadas en el contexto del problema de la aplicación de las matemáticas ampliando así el alcance de la concepción inferencial de la aplicabilidad de las matemáticas, a un ámbito que, si bien, está estrechamente emparentado, no se le vincula explícitamente en la literatura.

Considero que dos son las principales limitaciones de este trabajo, ambas son consecuencia del tiempo limitado con el conté para investigar y profundizar en las temáticas que abordé. Primero, en este trabajo no se considera la propuesta que desarrolla French (2018) para la distinción entre estructuras físicas y matemáticas. Segundo, pese a que *prima facie* podría resultar del todo relevante para esta propuesta, tampoco se considera la concepción de la representación científica elaborada por Suárez (2004) a la que él llama *concepción inferencial de la representación científica*. Sin embargo, puedo dar fe (basado en fuentes secundarias), que esta última propuesta es diferente a la concepción desarrollada en este trabajo.

Además, el lector habrá notado que hay ciertas tesis que se asumen, pero no están del todo desarrolladas o argumentadas. Las causas de esto son una amalgama de factores que incluyen nuevamente el tiempo y los plazos de entrega, cuestiones de estilo —no interrumpir un hilo narrativo—, y cuestiones de extensión (muchas de las tesis que componen esta propuesta podrían perfectamente requerir un libro entero para ser desarrolladas y argumentadas satisfactoriamente). Algunas de estas tesis —las que me parece más relevante de transparentar— son, por un lado, la que apunta a la reductibilidad de todos los modelos a estructuras abstractas (matemáticas); y, por otro, la que asume la superioridad del enfoque semántico, y la inconmensurabilidad lingüística de los modelos.

En definitiva, esta es una investigación que está apenas en sus primeras etapas —en consonancia con la etapa de formación de este autor— y tiene aún mucho por madurar y hacia donde crecer. En adición a los elementos recién señalados, otras líneas de investigación futuras podrían —entre otras cosas— preguntarse por el rol que podría cumplir la *modalidad* dentro de este marco teórico; profundizar en la relación entre el problema de la aplicabilidad de las matemáticas y la representación (estructural) científica; precisar la interrelación lógica (en sentido amplio) entre los problemas del realismo y la representación científica; abordar más directamente el problema de la ontología de las entidades matemáticas y de las teorías

científicas²². Espero tener la oportunidad de poder seguir abordando estas preguntas con el gusto por los paisajes desérticos y por el viajar liviano que creo que caracterizan mi forma de hacer filosofía.

²² Steven French ha publicado recientemente (2020) un libro fascinante acerca de este tema, se titula «*There is no such thing as scientific theories*».

Referencias

- Arenhart, J., Bueno, O. (2015). “Structural realism and the nature of structure”, *European Journal for Philosophy of Science*, 5 (1):111-139.
- Baker, A. (2003). “The Indispensability Argument and Multiple Foundations for Mathematics”, *Philosophical Quarterly*, 53: 49–67.
- Balaguer, M. (1998). *Platonism and Anti-Platonism in Mathematics*. New York, Oxford University Press.
- Borge, B., Lucero, S. (2018). “Ventajas y tensiones en la perspectiva del Estructuralismo Empirista”, *Revista de Filosofía (Madrid)*, 43. 10.5209/RESF.62033.
- Bueno, O. (1997). “Empirical Adequacy: A Partial Structures Approach”, *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 28 (4): 585–610.
- (1999). “What is structural empiricism? Scientific change in an empiricist setting”, *Erkenntnis*, 50 (1):55-81.
- (2011). “Structural empiricism, again”, en: *Scientific structuralism*, P. Bokulich, A. Bokulich. (eds). Dordrecht, Springer.
- (2019). “Structural realism, mathematics, and ontology”, *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 74:4-9.
- Bueno, O., Colyvan, M. (2011). “An inferential conception of the application of mathematics”. *Noûs*, 45(2): 345-374.
- Bueno, O., French, S. (2011). “How Theories Represent”, *British Journal for the Philosophy of Science* 62 (4):857-894.
- (2018). *Applying mathematics: Immersion, inference, interpretation*. Oxford, Oxford University Press.
- Carnap, R. (1967) [1928]. *The Logical Structure of the World*, R.A. George (trad.). Berkeley, CA, University of California Press. Original: *Der logische Aufbau der Welt*. Leipzig, Felix Meiner.

- (1937). *The Logical Syntax of Language*. London, Kegan Paul, Trench, & Trübner.
- (1966). *Philosophical Foundations of Science*. New York, Basic Books; reimpr. como *An Introduction to the Philosophy of Science* (1972); reimpr. New York, Dover (1996).
- Cartwright, N. (1983). *How de Laws of Physics Lie*. Oxford, Clarendon Press.
- (1999). *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Chakravartty, A. (2007). *A Metaphysics for Scientific Realism: Knowing the Unobservable*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Da Costa, N., French, S. (2003). *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. New York, Oxford University Press.
- French, S. (2014). *The Structure of the World: Metaphysics and Representation*. Oxford, Oxford University Press.
- (2020). *There Are No Such Things as Theories*. Oxford, Oxford University Press.
- French, S., Ladyman, J. (1997). “Superconductivity and structures: revisiting the London account”, *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 28 (3):363-393.
- Frigg, R., Nguyen, J. (2020). *Modelling nature: An opinionated introduction to scientific representation*. Cham, Springer.
- Frigg, R., Votsis, I. (2011). “Everything you always wanted to know about structural realism but were afraid to ask”, *European journal for philosophy of science*, 1(2): 227-276.
- Gentile, N. (2017). “The Scope of the Construction of Experience in Empiricist Structuralism”. *Principia*, 21: 445-459.
- Ladyman, J. (1998). “What is structural realism?”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 29: 409–424.
- Ladyman, J., Ross, D., Collier, J., Spurrett, D. (2007). *Every thing must go: Metaphysics naturalized*. Oxford, Oxford University Press

- Landry, E. (2007). “Shared structure need not be shared set-structure”, *Synthese*, 158 (1):1-17.
- Leng, M. (2002). “What’s Wrong with Indispensability? (Or the Case for Recreational Mathematics)”, *Synthese*, 131: 395–417.
- Mikenberg, I., da Costa, N., Chuaqui, R. (1986). “Pragmatic Truth and Approximation to Truth”, *Journal of Symbolic Logic*, 51 (1): 201-221.
- Morganti, M. (2011) “Is There a Compelling Argument for Ontic Structural Realism?”, *Philosophy of Science*, 78: 1165–76.
- Nagel, E. (1961). *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. New York, Harcourt, Brace & World.
- Nguyen, J. (2016). “On the pragmatic equivalence between representing data and phenomena”, *Philosophy of Science*, 83 (2):171- 191.
- Pincok, C. (2004). “A New Perspective on the Problem of Applying Mathematics”, *Philosophia Mathematica*, (3)12: 135–161.
- Poincaré, H. (1905). *Science and Hypothesis*. London, Walter Scott Publishing.
- Psillos, S. (2006). “The Structure, the Whole Structure and Nothing but the Structure?”, *Philosophy of Science*, 73: 560–70.
- Reck, E.H., Price, M.P. (2000) “Structures and Structuralism in Contemporary Philosophy of Mathematics”, *Synthese*, 125 (3): 341–83.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago, University of Chicago Press.
- (1969) [1924]. *The Axiomatization of the Theory of Relativity, with an introduction by W.C. Salmon*. Berkeley-Los Angeles, University of California Press. Original: *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre*. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.
- Soto, C. (2019). “Sobre el Colapso de las Estructuras Matemáticas y Físicas en el Realismo Estructural Óntico”, *Kriterion: Revista de Filosofía*, 60(143): 279-295.

- Soto, C., Bueno, O. (2019). “A Framework for an Inferential Conception of Physical Laws”, *Principia: an international journal of epistemology*, 23: 423-444. 10.5007/1808-1711.2019v23n3p423.
- Suárez, M. (2004). “An inferential conception of scientific representation”, *Philosophy of Science*, 71 (5):767-779.
- (2015). “Deflationary Representation, Inference, and Practice”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 49: 36-47
- Suppe, F. (1977) *The Structure of Scientific Theories*. Urbana, IL, University of Illinois Press.
- Suppes, P. (1961). “A comparison of the meaning and use of models in mathematics and the empirical sciences”, en: *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, P. Suppes. Dordrecht, Reidel.
- Tegmark, M. (2006) “The Mathematical Universe”, *Foundations of Physics*, 38: 101–50.
- Thomson-Jones, M. (2011). “Structuralism about scientific representation”, en: *Scientific structuralism*, P. Bokulich, A. Bokulich. Dordrecht, Springer.
- van Fraassen, B. (1980). *The Scientific Image*. Oxford, Oxford University Press.
- (1989). *Laws and Symmetry*. Oxford, Clarendon.
- (2008). *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford, Oxford University Press.
- Wigner, E. (1960). “The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences”. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13: 1–14.
- Wolff, J. (2011). “Do Objects Depend on Structures?”, *British Journal for the Philosophy of Science*. Ddoi: 10.1093/bjps/axr041.
- Worrall, J. (1989). “Structural realism: The best of both worlds?”, *Dialectica*, 43(1-2): 99-124.