



<https://doi.org/10.15446/ideasyvalores.v74n189.118198>

REVISITANDO EL DESAFÍO DE CHAKRAVARTTY. DEKI Y LOS INOBSERVABLES EN EL REALISMO CIENTÍFICO



REVISITING CHAKRAVARTTY'S CHALLENGE. DEKI AND THE UNOBSERVABLES IN SCIENTIFIC REALISM

BRUNO BORGE*

Universidad de Buenos Aires / Conicet - Buenos Aires - Argentina

CRISTIÁN SOTO**

Universidad de Chile - Santiago - Chile

Cómo citar este artículo:

MLA: Borge, Bruno y Cristián Soto. "Revisitando el desafío de Chakravartty. DEKI y los inobservables en el realismo científico." *Ideas y Valores* 74.189 (2025): 89-114.

APA: Borge, B. y Soto, C. (2025). Revisitando el desafío de Chakravartty. DEKI y los inobservables en el realismo científico. *Ideas y Valores*, 74 (189), 89-114.

CHICAGO: Borge, Bruno y Cristián Soto. "Revisitando el desafío de Chakravartty. DEKI y los inobservables en el realismo científico." *Ideas y Valores* 74, 189 (2025): 89-114.

* brunoborge@gmail.com / ORCID: 0000-0002-1755-9690.

** cssotto@uchile.cl / ORCID: 0000-0001-5675-8943.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

RESUMEN

La concepción semántica de las teorías científicas ha sido propuesta como un marco más favorable que la concepción sintáctica para la defensa del realismo científico. Sin embargo, Chakravartty argumenta que ambas concepciones enfrentan dificultades equivalentes, al articular compromisos realistas con entidades inobservables. Este artículo examina el desafío de Chakravartty mediante el análisis de desarrollos recientes en el debate sobre modelos y representación científica. Aunque reconocemos que la adopción de la concepción semántica no resuelve por sí sola los problemas tradicionales del realismo, sostenemos que la teoría DEKI (Frigg y Nguyen) ofrece herramientas conceptuales prometedoras para abordar el modelamiento y la representación de inobservables. Nuestro análisis revela que, si bien las teorías de la representación científica son ortogonales a los compromisos ontológicos realistas, los desarrollos modelo-teóricos contemporáneos proporcionan nuevas perspectivas para evaluar la viabilidad del modelamiento de entidades y propiedades inobservables que requiere la defensa del realismo científico.

Palabras clave: leyes, modelos, realismo científico, representación.

ABSTRACT

The semantic view of scientific theories has been proposed as a more favorable framework for scientific realism compared to the syntactic view. However, Chakravartty argues that both views face equivalent difficulties when articulating realist commitments to unobservable entities. This paper examines Chakravartty's challenge through an analysis of recent developments in the debate on models and scientific representation. While we acknowledge that adopting the semantic view does not resolve traditional realist problems by itself, we argue that the DEKI account (Frigg and Nguyen) offers promising conceptual tools for addressing the modelling and representation of unobservables. Our analysis reveals that, although theories of scientific representation are orthogonal to realist ontological commitments, contemporary model-theoretic developments provide new perspectives for assessing the viability of modeling unobservable entities and properties required by the defense of scientific realism.

Keywords: laws, models, representation, scientific realism.

Introducción: inobservables, modelos y representaciones

El realismo científico se compromete con tesis fundamentales sobre la verdad aproximada de las teorías científicas maduras, la referencia exitosa de los términos teóricos y la realidad de entidades inobservables postuladas por nuestras mejores teorías. Estos compromisos han sido tradicionalmente articulados y debatidos en el marco de la concepción sintáctica de las teorías científicas, según la cual las teorías constituyen conjuntos de enunciados formalizados en lógica de predicados. Sin embargo, a partir de la década de 1960, la concepción semántica ha ganado predominio en filosofía de la ciencia, caracterizando las teorías como familias de modelos matemáticos en lugar de entidades lingüísticas.

Esta transición conceptual ha sido saludada por algunos como una oportunidad para renovar la defensa del realismo científico. La idea central es que, al concebir las teorías como conjuntos de modelos no lingüísticos, se evitarían los problemas semánticos que tradicionalmente aquejan al realismo: las dificultades en torno a la verdad aproximada, la referencia de términos teóricos y la continuidad referencial durante el cambio teórico. En este contexto, el realismo científico podría concentrarse en mostrar cómo ciertos modelos representan exitosamente aspectos del mundo, incluyendo sus dominios inobservables, sin verse enredado en los laberintos de la filosofía del lenguaje.

No obstante, esta expectativa optimista ha sido cuestionada de manera sistemática por Chakravartty, quien argumenta que la concepción semántica no logra eludir los problemas fundamentales del realismo científico. Su desafío sostiene que cualquier defensa genuinamente realista debe enfrentar las mismas dificultades tradicionales, independientemente del marco meta-teórico adoptado. En particular, Chakravartty señala que los procesos centrales del modelamiento científico —la abstracción y la idealización— reintroducen inevitablemente componentes lingüísticos para establecer correspondencias entre modelos y sistemas físicos, especialmente cuando se trata de entidades y propiedades inobservables.

Aunque han transcurrido más de dos décadas desde la formulación original de este desafío, su relevancia permanece vigente en el debate contemporáneo sobre el realismo científico. Como reconocen Frigg y Hartmann, la cuestión planteada por Chakravartty sigue siendo un problema abierto que requiere atención filosófica. Esta persistencia se debe, en parte, a que los desarrollos recientes en el estudio de modelos y representación científica han enriquecido considerablemente nuestro entendimiento de estos temas, abriendo nuevas posibilidades para abordar las tensiones identificadas por Chakravartty.

En este artículo examinamos el desafío de Chakravartty a la luz de estos desarrollos contemporáneos, con especial atención a la teoría DEKI

(Frigg y Nguyen). Nuestro objetivo es evaluar si los avances recientes en el análisis de modelos y representación científica ofrecen recursos conceptuales que permitan una respuesta más satisfactoria a las preocupaciones de Chakravartty, particularmente en lo que respecta al tratamiento de inobservables. Aunque reconoceremos que la concepción semántica no resuelve automáticamente los problemas del realismo científico, sostendremos que las herramientas teóricas contemporáneas proporcionan nuevas perspectivas para abordar cuestiones centrales sobre la representación y el compromiso ontológico con entidades inobservables.

La estructura de nuestro análisis procede como sigue. En la sección 2 reconstruimos la transición desde la concepción sintáctica a la semántica, enfocándonos en aspectos relevantes para el realismo científico y esclareciendo por qué la concepción semántica podría ofrecer ventajas para la defensa realista. La sección 3 presenta una reconstrucción detallada del desafío de Chakravartty, precisando su alcance y sus implicaciones. En la sección 4 mostramos que la respuesta a este desafío depende crucialmente de la concepción específica de modelos y representación que se adopte. Las secciones 5-7 desarrollan nuestro análisis de la teoría DEKI, evaluando su capacidad para abordar el problema de la representación de inobservables y examinando casos paradigmáticos que involucran diferentes grados de inobservabilidad e idealización. Concluimos que, aunque las teorías de la representación científica son ortogonales a los compromisos ontológicos realistas, los desarrollos modelo-teóricos recientes ofrecen herramientas valiosas para renovar el debate sobre el realismo científico en el contexto de la concepción semántica de las teorías.

Desde la concepción sintáctica a la concepción semántica

Uno de los tópicos centrales de la filosofía de las ciencias del siglo xx ha consistido en el debate en torno al modo más adecuado de expresar el contenido de las teorías científicas a partir de un vocabulario metateórico. Esta discusión cobra especial relevancia para el realismo científico, pues el marco teórico que adoptemos para reconstruir las teorías científicas guarda estrecha relación con el modo en que articulamos sus compromisos ontológicos, particularmente respecto a entidades inobservables. El análisis filosófico busca examinar las teorías científicas y reconstruirlas mediante algún dispositivo teórico que permita destacar los elementos que se juzgan relevantes para su potencia epistémica. Esta labor ha ocupado un lugar central desde el Círculo de Viena, algunos de cuyos representantes sostienen que, si se quiere ganar precisión en el debate, conviene formalizar las teorías científicas empleando oraciones en lógica de predicados de orden superior a partir de un conjunto de términos clasificados como observacionales directamente interpretados (Carnap 1936, 1939). Esta propuesta corresponde

a la *concepción sintáctica* de las teorías, siendo característica del empirismo lógico y de la concepción heredada en filosofía de las ciencias.

Es importante señalar dos características fundamentales del enfoque sintáctico. En primer lugar, las teorías se entienden como conjuntos de enunciados susceptibles de formalización en lógica de predicados de primer y segundo orden. En segundo lugar, las teorías requieren una *interpretación semántica*. Los términos descriptivos que aparecen en una teoría necesitan definirse mediante algún procedimiento. Los enunciados que incorporan términos teóricos se vinculan, a través de reglas de correspondencia, con aquellos que utilizan vocabulario observacional. El debate sobre el significado de los términos teóricos generó numerosas discusiones. Se consideró que tal significado se encuentra ligado —al menos como restricciones sobre posibles interpretaciones semánticas— al vocabulario observacional. Este último recibe una interpretación semántica directa. Dichas interpretaciones pueden adoptar formas informales (expresadas en lenguaje natural) o formales (mediante la semántica tarskiana). Así, una teoría, entendida como un conjunto de enunciados, obtiene una interpretación semántica basada en un lenguaje específico. Esta cuestión resulta significativa para el realismo científico, dado que cualquier propuesta realista que aborde la relación entre teorías y mundo, o la continuidad del conocimiento científico durante cambios teóricos, debe enfrentar cuestiones relacionadas con el significado de los términos teóricos y su continuidad referencial.

Durante la segunda mitad del siglo xx emergió la *concepción semántica* o *modelo-teórica* de las teorías científicas. Desde este enfoque, las principales críticas a la concepción sintáctica se articularon en torno a la denominada *objeción de dependencia lingüística*. La reconstrucción formal de una teoría bajo el marco sintáctico exige adoptar una sintaxis y formulación específicas, materializadas en un conjunto determinado de oraciones en lógica de predicados. Esta dependencia lingüística genera dificultades concernientes a los criterios de identidad de las teorías científicas. Como señala Suppe (1974, 204-205), una misma teoría admite descripciones mediante diferentes conjuntos de oraciones, tal como ocurre con la teoría cuántica, susceptible de formulación tanto mediante la mecánica ondulatoria como a través de la mecánica matricial.

La contracara de esta deficiencia de la concepción sintáctica es un rasgo que la concepción semántica destaca como una de sus ventajas: las teorías científicas definen una familia de modelos que se presentan mediante un lenguaje formal (por ejemplo, el de la teoría de conjuntos). Esos modelos son entidades abstractas y su caracterización no es diferente de la empleada en las ciencias formales (Suppes 12). Así concebidas, las teorías no son entidades lingüísticas, y su formulación no depende de un lenguaje particular. Dado que la identidad de una teoría está atada a la familia de

modelos que define, la teoría puede “ser descrita de varios modos, mediante enunciados diferentes en lenguajes diferentes, y ninguna formulación lingüística tiene ningún estatus privilegiado” (van Fraassen 1989, 366).

La importancia de la objeción de la dependencia lingüística no se agota en la posibilidad de prescindir de la lógica de predicados como recurso formal, ni en tener una respuesta más adecuada para el problema de la naturaleza e identidad de las teorías científicas. Librándose de la dependencia lingüística, la aproximación semántica pretende eludir problemas que el enfoque sintáctico hereda al concebir las teorías como conjuntos de enunciados. Se espera, pues, que problemas ligados a la verdad, el significado y la referencia desaparezcan si concebimos las teorías como conjuntos de modelos. En este contexto, un modelo científico, según la concepción semántica, constituye fundamentalmente una estructura matemática abstracta o una entidad formal que satisface determinados axiomas de la teoría, y que guarda cierta relación (usualmente de isomorfismo o similitud estructural) con sistemas reales o posibles que la teoría pretende explicar. Estas estructuras pueden ser caracterizadas independientemente de cualquier formulación lingüística particular, lo que permitiría superar las limitaciones asociadas al lenguaje. Entre los muchos problemas vinculados a las nociones de verdad, significado y referencia, algunos son especialmente relevantes para el realismo científico. Entre ellos destacan la formulación de una noción de “verdad aproximada” funcional a los intereses realistas, la formulación de una teoría del significado para los términos que refieren a entidades inobservables y el problema de cómo rastrear la referencia de dichos términos a lo largo del cambio teórico de modo que la referencia exitosa no se haga trivial ni imposible (Borge 2017)

La *concepción semántica de las teorías* ofrece una etiqueta general para dar cuenta de una serie de posiciones y propuestas que comparten ciertas intuiciones básicas acerca de la naturaleza de las teorías y del rol de los recursos modelo-teóricos para su formalización. Considérese la noción de estructura. Una estructura S se define como un par ordenado $\langle U, R \rangle$, donde U es el dominio o universo de la teoría y R es un conjunto indexado no vacío de relaciones en U .¹ El dominio U representa el conjunto de entidades a las que refiere la teoría y R los distintos modos en que esas entidades se relacionan. Tanto U como R suelen bipartirse para dar cuenta de una distinción entre individuos, propiedades y relaciones observables, por una parte, e individuos, propiedades y relaciones inobservables, por otra.²

1 Una estructura puede contener un conjunto no vacío indizado de funciones f que mapean sobre U , pero dado que las funciones pueden ser reducidas a relaciones (Boolos et al. 98-99), omitimos aquí ese elemento.

2 Distintas variantes de la concepción semántica toman caminos divergentes sobre este punto. El estructuralismo metateórico de Sneed, Balzer, Stegmüller y Moulines

El hecho de que la concepción semántica presente las teorías enfatizando la estructura constituye un atractivo importante, que explica en parte que haya predominado en filosofía de las ciencias (Ladyman 416). Pero la superioridad de las herramientas modelo-teóricas, que ha buscado eludir la dependencia lingüística de la concepción sintáctica, no es tan clara y ha sido puesta en cuestión. Puede argumentarse que los enfoques sintácticos y semánticos son expresivamente equivalentes: todo cuanto puede ser expresado en un lenguaje modelo-teórico es expresable en el marco de la lógica de predicados y viceversa (Lutz). El mismo resultado alcanza a lo expresable en el enfoque de estructuras parciales. Asimismo, posiciones estructuralistas actuales (algunas de ellas comprometidas con el realismo) pueden ser formuladas en el marco del enfoque sintáctico (Borge 2018)

Que ambos enfoques sean expresivamente equivalentes no implica que sean igualmente adecuados en el contexto de la filosofía de la ciencia. La equivalencia en poder expresivo deja espacio para que alguno de estos enfoques sea filosóficamente superior o más conveniente para ciertos fines específicos. En particular, resulta clave preguntarnos si la adopción de la concepción semántica de las teorías favorece a la defensa del realismo científico. Esta posibilidad se sostiene no en la capacidad expresiva formal de los enfoques, sino en aspectos pragmáticos y heurísticos: los modelos semánticos pueden ofrecer una representación más natural e intuitiva de las relaciones estructurales entre teoría y realidad, facilitando la comprensión de cómo las entidades inobservables postuladas se corresponden con aspectos del mundo físico. Mientras la equivalencia entre ambos enfoques garantiza que todo lo expresable en un marco puede traducirse al otro, la concepción semántica podría proporcionar un aparato conceptual que hace más transparente la relación representacional que el realismo científico necesita articular. Este punto cobra nuevos matices si se consideran los desarrollos recientes sobre modelos y representación científica, y será crucial para nuestro análisis posterior de la teoría DEKI, que intentará esclarecer algunas de las limitaciones del enfoque semántico en su tratamiento de los inobservables. Revisitemos a continuación el desafío de Chakravartty para luego esbozar respuestas posibles acerca de los putativos beneficios de la concepción semántica para la defensa del realismo.

propone distinguir entre términos t-teóricos y t-no teóricos, según el término en cuestión provenga de la teoría que se reconstruye, y de una teoría que forma parte del conocimiento de fondo. A su vez, el enfoque de estructuras parciales (da Costa y French) opera una partición de R en tres conjuntos de relaciones, que se interpretan como relaciones presentes en el dominio, que no tienen lugar en el dominio, y que se desconoce si tienen lugar en el dominio, respectivamente.

Reconstruyendo el desafío de Chakravartty

Un desafío fundamental para el realismo científico reside en proporcionar una explicación convincente sobre la *verdad aproximada* de las teorías científicas. Los argumentos realistas vinculan el éxito predictivo o poder explicativo de las teorías científicas con la *referencia* de los términos teóricos y con la *verdad* de las afirmaciones implicadas por la teoría respecto de dominios inobservables. En cambio, el antirrealismo apela a la *falsedad* de teorías pasadas y al carácter *no referencial* de algunos términos teóricos para prevenir compromisos ontológicos con inobservables que deriven de las *descripciones* ofrecidas por teorías actuales. Como queda de manifiesto, muchos de los desafíos centrales del realismo parecen estar profundamente ligados a nociones semánticas, cuyo tratamiento es propio de las teorías de la referencia y el significado.

Aunque la discusión ha continuado sin expectativas de resolución, una línea de análisis sugiere que las dificultades enfrentadas por el realismo científico están intrínsecamente vinculadas a la concepción sintáctica de las teorías. Dentro de este marco sintáctico se han desarrollado los debates sobre la verdad aproximada, la referencia y el compromiso ontológico con inobservables. Ante estas dificultades, algunos defensores de la concepción semántica, como Suppe (1974, 1989), han propuesto que, al identificar las teorías con conjuntos de modelos no lingüísticos, se facilita la articulación del realismo científico, permitiendo una relación más directa entre la estructura matemática y la estructura del mundo físico. Sin embargo, esta posición resulta paradójica: si verdad y referencia son propiedades propiamente lingüísticas (predicables de oraciones y términos), entonces, al prescindir del lenguaje, tanto el realismo como el antirrealismo científico parecerían diluirse, pues ambas posiciones se articulan tradicionalmente en términos de esas propiedades. Esta tensión proporciona el contexto para entender el desafío de Chakravartty, quien cuestiona precisamente que la concepción semántica pueda realmente eludir los problemas tradicionales del realismo científico. Examinemos a continuación su posición para evaluar si la concepción semántica ofrece realmente ventajas filosóficas para la defensa del realismo.

Para la concepción semántica, la tarea del realismo científico se desvincula de los problemas de la filosofía del lenguaje, concentrándose en mostrar cómo ciertos modelos científicos representan exitosamente aspectos del mundo. Chakravartty reconoce este punto, pero sostiene que el realismo científico enfrenta las mismas dificultades tanto en la concepción sintáctica como en la semántica: “o bien uno debe enfrentar sus desafíos tradicionales, o bien abandonar cualquier compromiso realista sustantivo; no es posible ser realista y eludir dichos problemas” (Chakravartty 329).

El principal argumento a favor de este último punto apela a la importancia de dos procesos centrales en la construcción de modelos

científicos: la abstracción y la idealización. La abstracción consiste en un proceso selectivo donde se omiten algunos aspectos del sistema físico en el proceso de modelamiento, considerando solamente aquellos que son relevantes para el tipo de fenómeno que se pretende capturar. No implica distorsión, sino simplificación selectiva. Por ejemplo, el modelo de reflexión especular abstrae imperfecciones propias de cualquier superficie real y de la variación que impondría el espesor del cristal. La idealización, en cambio, introduce distorsiones deliberadas de aspectos del sistema físico. Estas distorsiones representan condiciones que se sabe que no existen en el sistema real, pero que resultan importantes para la representación del fenómeno (Chakravartty 238).³

La diferencia entre los procesos de abstracción e idealización resulta crucial para el realismo. Mientras la abstracción recoge selectivamente aspectos del sistema real, la idealización introduce distorsiones que se suponen ausentes en el mundo. Si el compromiso realista se basa en una concepción de modelos, este debe fundarse en el establecimiento de algún tipo de correlación entre tales modelos y sus sistemas de interés. El desafío de Chakravartty cobra ribetes particularmente relevantes para la pretendida superioridad de la concepción semántica, puesto que el establecimiento de correlaciones entre un modelo y su sistema de interés reintroduce enunciados lingüísticos (que la concepción semántica quería dejar atrás) para establecer descripciones de correspondencias significativas entre elementos de un modelo particular y aspectos del sistema físico al que refieren (Chakravartty 330). Ello permitiría aclarar lo que los modelos nos dicen acerca del mundo. Esta reintroducción de componentes lingüísticos resulta especialmente problemática cuando tratamos con entidades y propiedades inobservables, pues precisamente la motivación inicial para adoptar la concepción semántica era evitar los problemas de referencia a inobservables que aquejan a la concepción sintáctica. Si para establecer correspondencias entre modelos y sus sistemas objetivo necesitamos recurrir a descripciones lingüísticas que mencionan inobservables, entonces nos enfrentamos nuevamente al problema de la referencia de términos teóricos.

Aun suponiendo que la representación mediante modelos únicamente busca capturar elementos estructurales del sistema físico (aspectos que pueden describirse hasta el límite del isomorfismo estructural, excluyendo todo aspecto no estructural), tal suposición asume que es posible identificar una estructura determinada en dicho sistema. No obstante, habitualmente se admite que los sistemas físicos admiten múltiples descripciones, vinculando cada una de ellas a una

3 En la sección 7 retomaremos el problema de la idealización en la formulación de leyes, examinando sus consecuencias para la defensa del realismo científico.

formulación lingüística particular o a un marco teórico más amplio que facilita precisar la descripción que individualiza una estructura específica. Frigg (55) ha argumentado que “una estructura S puede representar un sistema T solo con respecto a una cierta descripción de dicho sistema”, mostrando que “la representación científica no puede explicarse únicamente en términos de estructuras”. Este hecho socava la pretendida superioridad filosófica de la concepción semántica relativa a la supuesta independencia lingüística de los modelos. En contra de lo esperado, las descripciones lingüísticas siguen jugando un rol al establecer vínculos entre los modelos y los sistemas físicos que representan.

Podría argüirse que la indispensabilidad de las descripciones (y con ello, la caída de la independencia lingüística) depende del uso de modelos para el fin específico de representar *bajo supuestos realistas*. Mostremos a continuación que el problema es más profundo, yaciendo en el corazón del enfoque modelo-teórico. Hemos dicho que una manera de caracterizar las estructuras en dicho marco apela a la noción de interpretación en un vocabulario específico, *i.e.*, interpretaciones semánticas que las vinculan con *una sintaxis particular*. Para Chang y Keisler (§1.3, nuestra notación; véase Hodges 2), una estructura S se define como un par ordenado $\langle U, f \rangle$, donde U es un dominio y f una función de interpretación que mapea extensionalmente símbolos de relación, función y constantes sobre U . La interpretación de dichos símbolos es extensional. Un cambio en el aparato simbólico no constituye en realidad ningún cambio de vocabulario: una vez fijada la función f , S descansa sobre un vocabulario (una sintaxis) particular.

La concepción semántica apela a las *estructuras indexadas* (Lutz 1481), que no definen la estructura a partir de una interpretación, sino por medio de una familia de relaciones indexadas (van Fraassen 2014; da Costa y French; French y Ladyman). Como señala Borge (2018), en la presentación de Bell y Slomson (§3.2, nuestra notación), se define una estructura S como un par ordenado $\langle U, \{R_i\}_{i \in I} \rangle$, siendo U un dominio y $\{R_i\}_{i \in I}$ un conjunto indexado de relaciones extensionales. Si bien esto implica que S no descansa sobre un vocabulario *específico*, no implica que S pueda formularse independientemente del tipo de vocabulario que se elija. En cambio, S depende de un *tipo de vocabulario* determinado por las restricciones del conjunto indexado. Las estructuras indexadas admiten ciertas variaciones en el aparato simbólico que se utiliza para nombrar relaciones, funciones y constantes, pero esas variaciones no resultan en diferencias formales, del mismo modo que un conjunto indexado y una función de indexación entre dos dominios difieren solo conceptualmente:

una estructura indexada es indistinguible de una estructura [...], esto introduce el vocabulario por la puerta de atrás. El mapeo desde el conjunto indexado I sobre el conjunto $\{R_i\}_{i \in I}$ que es necesario para definir tal con-

junto indexado es formalmente indistinguible de una interpretación con el vocabulario *I*. Cualquier afirmación respecto de que *I* no es un vocabulario, sino un conjunto indexado, debe sustentarse en compromisos (o más bien en declaraciones) por fuera del formalismo. (Lutz 1481, nuestra notación)

La objeción de dependencia lingüística sigue en pie en contra del enfoque semántico. El desafío de Chakravartty pone en jaque la posibilidad de recurrir al enfoque semántico para defender el realismo científico sin caer en los problemas tradicionales si el lenguaje sigue ocupando un rol central. Dentro del marco de la concepción semántica, el realismo científico enfrenta los mismos problemas familiares para la concepción sintáctica al dar cuenta de la verdad aproximada, la referencia y el compromiso ontológico con inobservables. Este desafío, no obstante, no acepta respuestas unívocas. Por el contrario, el modo de esclarecer cómo las teorías científicas, entendidas ahora como familias de modelos, logran establecer un vínculo epistémicamente exitoso con los aspectos inobservables del mundo depende de varios factores. Principalmente, de cómo sean entendidos los modelos y de cómo sea esclarecida su relación con el mundo. Ambos problemas abren un abanico considerable de alternativas teóricas que van desde perspectivas estructuralistas (van Fraassen 1980) hasta enfoques inferencialistas (Suárez 2003, 2004). La teoría DEKI ofrece un marco particularmente fértil para analizar el problema de la representación de inobservables. Por ahora, nos concentramos en la sección siguiente en explorar diversas teorías de la representación científica que intentan responder al desafío de Chakravartty.

Modelos y representaciones científicas

Tras haber reconstruido el desafío de Chakravartty, una primera observación que conviene explicitar es la siguiente: la respuesta a este desafío dependerá del tipo de modelos o de la concepción de representación científica que uno asuma. Es decir, al evaluar la viabilidad del realismo científico dentro del marco de la concepción semántica cabe preguntar: primero, ¿cuáles son las exigencias mínimas que impone el realismo para una teoría de la representación que satisfaga los estándares de la interpretación realista de la práctica científica, especialmente en vistas de los inobservables? Y segundo, ¿cómo se entiende la naturaleza de la representación dentro del marco de la concepción semántica?

Con respecto a nuestra primera pregunta, en la sección 2 hemos indicado que la concepción semántica asume que las teorías son conjuntos de modelos y no enunciados lingüísticos, por lo cual ellas no podrían ser verdaderas de la misma manera en la que una descripción puede serlo. Ahora bien, en la sección 3, hemos mostrado que la concepción semántica sigue introduciendo un componente lingüístico. Volveremos sobre esta

primera pregunta en las secciones 5 a 7. Mostraremos que dos exigencias mínimas que tienen que ser satisfechas para mantener en pie la interpretación realista consisten en asegurar, primero, que las teorías científicas (o sus conjuntos de modelos) representan sus dominios; y segundo, en asegurar el compromiso ontológico con la realidad de los supuestos inobservables a los que refieren nuestras teorías (o conjuntos de modelos).

Pues bien, la satisfacción de ambos requerimientos —y por ende la respuesta a nuestra reconstrucción del desafío de Chakravartty— depende de la respuesta que se ofrezca a nuestra segunda pregunta acerca de la naturaleza de la representación científica. Las propuestas al respecto han proliferado, ofreciendo ideas dispares acerca de si el realismo científico encuentra en la concepción semántica un ambiente propicio para su desarrollo. Hoy más que antes sabemos que la respuesta a nuestra cuestión depende de la teoría de modelos y de representación que se adopte. Entre aquellas concepciones que han recibido mayor atención, encontramos el griceanismo, la teoría de la similitud, la concepción inferencial, la concepción estructuralista y el ficcionalismo. Cada una de ellas concibe los modelos y la representación científica de una manera diferente, ocupando distintos lugares en un horizonte de visiones que transita desde posturas antirrealistas a otras realistas.⁴

Solamente para ilustrar la situación, considérese la concepción de la similitud (Giere 1988, 1999, 2006). Esta adopta una actitud pluralista respecto de la naturaleza de los modelos, que pueden ser estructuras matemáticas abstractas, íconos, mapas, modelos a escala y objetos físicos de diversa índole. Para la teoría de la similitud, un modelo, *X*, cumple un rol representacional cuando un agente, *A*, lo emplea con ciertos propósitos, *P*, destacando similitudes entre *X* y el sistema objetivo, *T*. La identificación de similitudes depende de diversos factores, tales como que *X* posea las propiedades o relaciones estructurales que se le atribuyen a *T*, y que *A* sea un agente que posea las competencias suficientes para ocupar el modelo con el propósito de establecer similitudes.⁵ Por sí solo, *X* no es un modelo, sino que obtiene su capacidad representacional al ser empleado por un agente competente. Las similitudes entre *X* y *T* no se encuentran dadas, sino que requieren un trabajo intencional por parte de los agentes para establecerlas.

La concepción de la similitud responde a nuestra segunda pregunta, pero ello no basta para abordar las exigencias del realismo científico.

4 Para un análisis detallado de las propuestas principales, véase Frigg y Nguyen.

5 Como ha señalado un revisor de este artículo, la relevancia del agente en el establecimiento de similitudes representacionales es dispar en diversas concepciones de modelos. En algunos casos, el rol de los agentes pierde relevancia. No obstante, una de las características de los debates sobre modelos y representación científica consiste en reconocer la dimensión pragmática de la tarea.

En particular, la concepción de la similitud es neutral respecto de la cuestión del realismo científico, pudiendo derivarse interpretaciones realistas o antirrealistas a partir de ella. Giere la vincula con su *realismo constructivo* y su desarrollo ulterior en el *perspectivismo científico*, permitiendo matizar las expectativas acerca de la representación científica. La teoría de la similitud afirma que los modelos representacionales nos informan acerca de propiedades o relaciones que se obtienen en un sistema físico, pero la información es derivada por un agente que cuenta con competencias previas (conocimiento de la teoría de trasfondo y familiaridad con instrumentos relevantes) y que emplea el modelo con el propósito de representar aspectos de un dominio físico.

En este contexto, un agente refiere a un sistema físico de interés identificando similitudes entre este último y un modelo que se emplea para representarlo, identificando propiedades o relaciones que se obtienen en el modelo y que se instancian en el sistema físico. La referencia es parcial y se circunscribe a aquellos aspectos del sistema físico que se consideran relevantes en cada escenario de investigación. Nada de esto se compromete con la imputación de la posesión objetiva de un único conjunto de relaciones o propiedades a un sistema físico. Por el contrario, se imputan relaciones y propiedades relevantes desde una cierta perspectiva, dejando abierta la posibilidad de que otros modelos representen el mismo dominio de manera diferente (Massimi).

En vistas de la defensa del realismo científico, la concepción de la similitud ofrece una concepción plural y diversa de los modelos científicos para ofrecer exitosamente una historia acerca de cómo funciona la representación científica. Sin embargo, ella deja intacto el asunto relativo al compromiso ontológico con supuestos inobservables. Para esta propuesta, las similitudes que un agente identifica entre un modelo y su sistema físico tienen que ser *accesibles* para poder ser atribuidas a ambos. La similitud es una relación *diádica*, requiriendo de la *presencia* de aquello que se cree similar entre un modelo y un sistema físico. Los inobservables son por definición inaccesibles (no en principio, sino empíricamente inaccesibles) en momentos determinados de la investigación. Si la teoría de la similitud atribuye propiedades o relaciones inaccesibles, tendría que hacerlo permitiendo la postulación de propiedades o relaciones inobservables, que —se argumenta— forman parte del sistema físico y se capturan en la construcción de un modelo representacional. No obstante, en este punto exactamente hemos escapado a los límites de una mera teoría de la representación y nos hemos adentrado en asuntos propiamente ontológicos acerca de inobservables.

La investigación científica basada en modelos ha sido fructífera cuando los modelos cobran vida por sí mismos permitiendo investigar dominios de la realidad que no son directamente accesibles en un

momento particular (Morrison y Morgan 18). El modelamiento matemático de sistemas físicos ha conducido a la identificación de propiedades o relaciones estructurales inobservables que fueron inicialmente postuladas atendiendo a la teoría de trasfondo y a la información que se obtiene a partir de la investigación de determinados modelos, aun cuando solo posteriormente se acceda a confirmación por medio de observaciones. No es claro que la concepción de la similitud dé cuenta de casos en los que los modelos atribuyen propiedades que no se sabe si se obtienen en un sistema físico de interés. La teoría de la similitud enfrenta un límite sobre el que volveremos en nuestro análisis de DEKI: al constituir relaciones diádicas entre un modelo y su sistema físico, las similitudes no acomodan el compromiso ontológico con inobservables que se ignora si pertenecen al sistema físico relevante.

Solamente hemos tomado la teoría de la similitud como un ejemplo que permite derivar algunas moralejas. Primero, la concepción semántica de las teorías no constituye ni una amenaza ni un salvavidas para el realismo científico. La relación entre ambas propuestas filosóficas depende de la forma específica que tome nuestra formulación del realismo científico (en el presente caso, una versión moderada que se ocupa de la referencia y de los inobservables) y de nuestra concepción de modelos y representación científica. Sin precisar el alcance de ambas propuestas, la relación entre ellas no es informativa. Segundo, la exigencia de la representación basada en similitudes es satisfecha si los aspectos relevantes se obtienen tanto en el modelo como en un sistema objetivo relevante. De no obtenerse en alguno de ellos, la representación no tiene lugar. Por lo mismo, tercero, la teoría de la similitud no satisface el desiderátum realista relativo al compromiso ontológico con inobservables: la introducción de inobservables en modelos resulta insuficiente para su imputación a sistemas físicos. Exploremos este punto en las secciones 5 a 7.

Algunos elementos de DEKI, en breve

La centralidad de los modelos en la concepción semántica no resuelve los problemas del realismo científico, sino que permite arrojar una luz nueva sobre ellos. Algunas concepciones sobre la naturaleza y el rol de los modelos parecen estar hechas a la medida para la defensa del antirrealismo. Un modelo no es un enunciado; por ende, cuesta esclarecer cuáles sean sus condiciones de verdad. Y un modelo es físicamente informativo y relevante si representa exitosamente su dominio. Con ello, el problema de la referencia no desaparece, sino que se plantea de manera diferente. Las teorías de modelos ofrecen diversas historias acerca de la representación científica. Arriba hemos mencionado la concepción de la similitud, pero esta es solo una propuesta que no se encuentra exenta de problemas (Frigg y Nguyen capítulo 3). En lo que sigue nos concentramos

en DEKI, propuesta que, a nuestro parecer, constituye una de las aproximaciones más sofisticadas al modelamiento y la representación científica, y que además tiene el beneficio, para nosotros, de plantear el problema del modelamiento o representación de inobservables, que es crucial para el realismo científico. Ello nos ofrecerá la posibilidad de contribuir al debate explorando la viabilidad del realismo científico dentro del marco de una propuesta sofisticada sobre modelamiento y representación.

El desafío de Chakravartty indica que “si uno quiere ser un realista, es imprescindible alguna clase de enunciado explícito que afirme una correspondencia entre una descripción de algún aspecto de un modelo y el mundo” (330-331). ¿Pretende la concepción semántica deshacerse cabalmente del uso de recursos lingüísticos? La respuesta es: no. Aunque la formalización de teorías científicas ocupa un lugar importante en el debate reciente, la concepción semántica no abandona los lenguajes naturales que se emplean en las descripciones de objetos, condiciones de trasfondo teórico, problemas, modelos de datos y escenarios experimentales, entre otros elementos. El alcance de la aspiración semanticista contra el lenguaje es otro: los elementos centrales de una teoría científica son un conjunto de modelos, usualmente expresados formalmente, que representan propiedades y relaciones que se atribuyen a un dominio físico de interés. En cambio, el lenguaje natural permite describir un modelo, indicar cuáles son sus partes componentes y su poder referencial, así como su contexto teórico y los recursos experimentales y matemáticos con los que se cuenta para interpretarlo.

Una moraleja incuestionable que se obtiene de los debates recientes es esta: las concepciones sintáctica y semántica de las teorías científicas son artefactos de la interpretación filosófica, que no siempre encuentran una contraparte natural en las prácticas científicas. Su relevancia filosófica está dada por la manera en la que facilitan nuestra comprensión de tales prácticas. En estas últimas, las distinciones filosóficas, tales como aquella entre modelos y lenguaje natural, no son prístinas. Considérese el caso de los *Principia Mathematica Philosophia Naturalis* de Newton, que combina aspectos lingüísticos y modelos por igual (Frigg 2023 16 y ss.). Se comienza con una serie de ocho definiciones que introducen los conceptos *cantidad de materia* y *cantidad de movimiento*, que son ajenos al lenguaje ordinario. Para otros conceptos no se ofrece definición alguna, aun cuando se trata de nociones complejas como *espacio*, *tiempo* y *lugar*. Se añaden las formulaciones de las tres leyes del movimiento, que constituyen los axiomas del sistema y que permiten construir modelos para las colisiones entre cuerpos. Y se enuncia la ley de gravitación universal, una generalización matemática sin precedentes en filosofía natural. Luego siguen las proposiciones geométricas de los lemas, y otras proposiciones que enuncian problemas o teoremas que

se infieren de las definiciones de conceptos, leyes y lemas, entre otros. Los modelos y el lenguaje conviven en la formulación de esta teoría.

DEKI ofrece una estrategia para responder al desafío de Chakravartty. El acrónimo resulta de las expresiones inglesas *denotation*, *exemplification*, *keying-up*, e *imputation* (denotación, ejemplificación, claves interpretativas, e imputación). La teoría deki define *modelo* así:

un modelo M es una Z -representación, $M = \langle X, I \rangle$, en donde X es escogido por un científico (o por un grupo de científicos) para ser un portador en un cierto contexto de modelamiento e I es una interpretación. (Frigg y Nguyen 169)

DEKI distingue entre *Z-representación* y *representación de*. La primera se encuentra ejemplificada en la representación de una economía (*economía-representación*, donde *economía* ocupa el lugar de Z), que no representa una economía particular, sino aspectos generales de un sistema económico que posteriormente podrían emplearse para representar una economía particular (Frigg y Nguyen 166 y ss.). Z remite, pues, a un dominio general no instanciado. En cambio, *representación de* es la representación de sistemas particulares, tales como la economía de Inglaterra. Además, DEKI incluye dos elementos en su definición de modelos: el portador (X) y la interpretación (I). Un portador (por ejemplo, un mapa, una foto, una ecuación, etc.) no es un modelo a menos que un agente o comunidad epistémica lo emplee como un modelo de un sistema en particular; como portador, solo será un modelo adecuado si se provee un conjunto de herramientas interpretativas, (I), que indiquen los elementos relevantes del modelo que representan aspectos de un sistema.

DEKI introduce cuatro condiciones que deben ser satisfechas en la representación científica:

DEKI: sea $M = \langle X, I \rangle$ un modelo. M es una representación epistémica indirecta de T si y solo si M representa T como Z , en donde M representa T como Z si y solo si se satisfacen todas las siguientes condiciones:

- (i) M denota T (y en algunos casos partes de M denotan partes de T).
- (ii) M I -ejemplifica características- Z Z_1, \dots, Z_m .
- (iii) M incluye una clave K asociando el conjunto $\{Z_1, \dots, Z_m\}$ con el conjunto de características $\{Q_1, \dots, Q_l\}$: $K(\{Z_1, \dots, Z_m\}) = \{Q_1, \dots, Q_l\}$.
- (iv) M imputa al menos una de las características Q_1, \dots, Q_l a T . (Frigg y Nguyen 176)

Según ello, el modelo M representa el sistema de interés T como Z . Se dice como Z porque un mismo modelo puede ser empleado para dos o más sistemas, sujeto en cada caso a interpretaciones diferentes. M denota T ejemplificando el conjunto de características $\{Z_1, \dots, Z_m\}$, que permiten referir a las características $\{Q_1, \dots, Q_l\}$ imputadas al sistema de interés.

Nótese un primer punto: a diferencia de la distinción radical entre modelos y lenguaje natural que quizás predominaba en las elaboraciones tempranas de la concepción semántica, DEKI ofrece una respuesta al desafío de Chakravartty acomodando componentes lingüísticos que vinculan aspectos del modelo y su sistema de interés. Los componentes lingüísticos aparecen en dos niveles. Primero, en la interpretación I, que constituye junto a X el modelo M: I permite que un agente pueda servirse del portador X para emplearlo como un modelo M de T. La interpretación introduce información relevante para la descripción del problema que se tiene a la vista y del sistema que se quiere representar. Y segundo, K añade las claves interpretativas, componente lingüístico que conecta aspectos $\{Z_1, \dots, Z_m\}$ de M con aspectos $\{Q_1, \dots, Q_l\}$ imputados a T. Tales aspectos son propiedades o relaciones que se obtienen en ambas partes.

Frigg y Nguyen definen K así:

Clave K: Sea $M = \langle X, I \rangle$ un modelo y sean Z_1, \dots, Z_m características-Z ejemplificadas por M. Una clave K asocia el conjunto $\{Z_1, \dots, Z_m\}$ con un conjunto $\{Q_1, \dots, Q_l\}$ de características-Z que son candidatas para ser imputadas al sistema objetivo. Escribimos $K(\{Z_1, \dots, Z_m\}) = \{Q_1, \dots, Q_l\}$. (175)

Si se considera el caso de un mapa como modelo de una ciudad, las claves interpretativas ofrecerán información acerca de cómo interpretar direcciones, escalas, colores y otras etiquetas, cuya información relevante la obtiene un usuario que cuenta con las claves interpretativas correspondientes. DEKI reúne así elementos teóricos capaces de responder la demanda de Chakravartty, brindando un análisis refinado de los modos en los que las interpretaciones de aspectos de un modelo pueden imputarse al mundo. Hasta aquí llegamos con la exposición de DEKI. Indagaremos en la sección siguiente si esta propuesta satisface las aspiraciones de la interpretación realista de la práctica científica.

DEKI y los inobservables del realismo científico

¿Ofrece DEKI una alternativa promisoría para la defensa del realismo científico dentro del marco de la concepción semántica de las teorías? Por lo pronto, deki es neutral respecto de los debates sobre realismo científico. Nosotros nos limitaremos a examinar la viabilidad de la representación y el compromiso ontológico con los inobservables. Veamos en qué situación nos encontramos en cada caso.

Primero, DEKI responde a la exigencia de la representación exitosa de dominios físicos. En principio, DEKI puede acomodar la defensa del realismo científico si se acepta que nuestra teoría de la representación cuenta con elementos I en la constitución de un modelo $M = \langle X, I \rangle$; más aún si se cuenta con claves interpretativas K que permiten establecer vínculos entre M y T. Tanto I como K recurren a elementos lingüísticos,

compatibilizando modelos y lenguajes. Segundo, en cuanto al compromiso ontológico con inobservables, la condición E, relativa a la ejemplificación, impone el siguiente dilema: se tiene que determinar si las propiedades que pueden ser ejemplificadas tienen que ser exclusivamente observables, o si en cambio estas pueden incluir propiedades inobservables. DEKI no se pronuncia respecto del compromiso realista con inobservables:

las cuestiones que conciernen a la representación son ortogonales al problema del realismo científico. Aun cuando los modelos tengan toda clase de propiedades inobservables, los modelos pueden ser interpretados en tanto que ejemplifican solamente propiedades observables, o en tanto solamente las propiedades observables pueden tener una clave interpretativa y ser así imputadas. Tal interpretación de un modelo es antirrealista. Si todas las propiedades, incluidas las inobservables, son ejemplificadas, poseen una clave interpretativa y son imputadas, entonces se interpreta el modelo de manera realista. (Frigg y Nguyen 183)

La dificultad es crucial para la defensa del realismo científico. Los niveles de análisis son diversos. Primero, contamos con la alternativa interpretativa que nos dice que la ejemplificación, junto a las claves interpretativas y a la imputación, se limita a propiedades observables. Ello se alinea con diversas formas de antirrealismo. Pero incluso acá cabe especificar qué se entiende por observable. Algunas posturas sostienen que se trata de observabilidad con los sentidos desnudos, sin asistencia de otros aparatos de observación. Ello, no obstante, está lejos de ser relevante para las prácticas en diversas áreas de la física, en donde la mediación de diversas tecnologías y la elaboración de ambientes de laboratorio altamente complejos superan con creces el input informacional que obtenemos con nuestros solos sentidos.

Un segundo nivel de análisis corresponde a la observación con asistencia de otros instrumentos. En este nivel, ejemplificamos, avanzamos claves interpretativas e imputamos propiedades observables a, digamos, electrones, porque contamos con herramientas tecnológicas en escenarios experimentales que permiten dar este paso. Pero cuando se trata de atribución de propiedades observables con ayuda de instrumentos de observación, la distinción entre ontología y teoría arriesga diluirse: identificamos la detección de la carga eléctrica negativa de electrones porque contamos con instrumentos de observación cuyo mecanismo descansa en un trasfondo teórico que permite interpretar tanto su funcionamiento como la masa de datos recopilados a través de ellos. A nuestro entender, DEKI puede acomodar este tipo de casos que interesan en el debate sobre realismo científico.

Un tercer nivel va más allá en relación con los límites de la ejemplificación, la provisión de claves interpretativas y la imputación de

propiedades estrictamente inobservables que aparecen en un modelo, pero que ignoramos si tienen lugar en un sistema de interés, o abiertamente sabemos que su instanciación es físicamente imposible. En estos casos, la imputación podría tener lugar desde un modelo matemático a otro modelo matemático, en donde el primero incorpora una propiedad o relación que es exitosamente atribuida al segundo modelo, sin que ello ofrezca garantía de que pueda ser imputada a un sistema físico. Los ejemplos de este tipo son recurrentes, tales como el modelo de R. A. Fisher en genética de poblaciones, que asume que las poblaciones son infinitas; el análisis de transiciones de fase que requiere la introducción del límite termodinámico $N \rightarrow \infty$, que postula un número infinito de partículas para modelar un sistema finito real; y así otros.⁶ En estos casos, aun cuando no anclamos el aparataje teórico en el mundo, construimos modelos que nos permiten explorar posibilidades en la dinámica o evolución temporal de un sistema dados ciertos supuestos introducidos en el modelamiento. Pero si ignoramos si las propiedades en cuestión se obtienen en el sistema físico, o si incluso sabemos que la instanciación de tales propiedades es físicamente imposible, no parece ser el caso que DEKI (ni, a este respecto, ninguna otra teoría de la representación) pueda mantener en pie el compromiso ontológico con inobservables de este tipo.

La ortogonalidad de la teoría de la representación ofrecida por DEKI salta a la vista: nuestra decisión sobre compromisos ontológicos con inobservables en casos del tercer nivel de análisis, en donde la ejemplificación transita solamente de un modelo a otro, depende de asuntos extra-representacionales. El compromiso ontológico con los inobservables postulados por los modelos es independiente de la teoría de la representación que se adopte. La defensa del realismo científico puede retornar a los argumentos tradicionales a favor de su doctrina, tales como el poder explicativo o predictivo de una ejemplificación modelo-modelo, que podría contar como un argumento a favor del compromiso ontológico con inobservables. Se trataría, una vez más, de una inferencia a la mejor explicación o del argumento del milagro, que escapan a las discusiones sobre modelos y representación (Soto 2019).

Idealización y modelamiento de inobservables

Reforcemos nuestra tesis relativa a la ortogonalidad de los desarrollos de una teoría de modelos o de la representación en vistas de la resolución de los problemas que surgen con los inobservables del realismo científico. En esta sección tendremos a la vista escenarios en donde no cabe representar, sino solo modelar sistemas usualmente idealizados que no se

6 Morrison examina este y otros ejemplos. Retomaremos problemas relacionados con la idealización en la sección 7.

tienen razones para creer que se encuentren instanciados en la realidad. El modelamiento a través de idealizaciones escapa, siguiendo el lenguaje de DEKI, a la provisión de ejemplificaciones físicas, puesto que en este contexto nos limitamos a construir sistemas ideales que permiten, sin embargo, explorar propiedades o relaciones (por ejemplo, dinámicas) de sistemas a las que no tenemos acceso directo. Revisemos este punto con más detalle.

Considérese la contribución de las idealizaciones al modelamiento. Para ello, concentrémonos en ejemplos estándares de leyes de la naturaleza que incluyen la introducción de propiedades ideales que sabemos que no se encuentran (o al menos ignoramos si se encuentran) ejemplificadas por sistemas físicos.⁷ El presente escenario para el realismo científico es crucial, dada la centralidad del modelamiento de propiedades o relaciones ideales en la práctica científica.

La ley newtoniana de la gravitación universal ofrece un ejemplo rutinario en la literatura, que introduce idealizaciones y abstracciones:

$$F_{\text{grav}} = Gm_1m_2/r^2$$

Esta nos informa acerca de la relación gravitacional entre las masas de los cuerpos m_1 y m_2 , que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, r^2 , entre las mismas dada la constante gravitacional, G . La *abstracción* tiene lugar en la omisión de información acerca de la constitución física de las masas, por ejemplo, mientras que la *idealización* tiene lugar al representar la relación gravitacional entre dos cuerpos como si se tratara de esferas perfectas, como si el centro de la fuerza gravitacional pudiera localizarse en un punto ideal, y como si tales cuerpos no estuvieran sujetos a otras fuerzas (electromagnéticas o incluso gravitacional con otros cuerpos en su ambiente), entre otros aspectos. La pregunta es evidente: ¿podría el realismo científico ofrecer una interpretación realista de tales propiedades idealizadas?

Las interpretaciones antirrealistas ven en este caso un acicate para proponer que nuestros enunciados de leyes de la naturaleza que modelan propiedades y relaciones idealizadas no ofrecen una descripción verdadera de sus sistemas objetivos, sino que introducen distorsiones que son falsas si se interpretan literalmente acerca de sus dominios. Por el contrario, las interpretaciones realistas han buscado explicar los roles que juegan las idealizaciones en la construcción exitosa de modelos de sistemas físicos, aduciendo que ellos permiten el éxito progresivo de la explicación y la predicción de fenómenos de interés.⁸

7 Soto (2024) desarrolla argumentos sobre aspectos que, en este punto, relegamos a un segundo orden, tales como el contexto histórico en el que se construyen idealizaciones o se añaden estructuras matemáticas excedentes, sin interpretación física, a las formulaciones de leyes que siguen a continuación. Véase, en particular, el capítulo 10.

8 Véase Frigg y Hartman, sección 5.1, quienes refieren a los análisis de la idealización ofrecidos por Laymon y McMullin, entre otros. El problema de las idealizaciones puede

El realismo científico se encuentra ante una situación compleja. No cabe esperar que podamos *deidealizar* los modelos científicos (Cartwright), ni parece adecuado sostener que la práctica científica se concentra en la de-idealización más bien que en la continua introducción de nuevas idealizaciones (Frigg y Hartmann). Contra el realismo científico, contamos con modelos incompatibles de un mismo sistema físico que ofrecen predicciones exitosas, como es el caso del *modelo de la gota líquida* y el *modelo nuclear de capas* de los átomos. El perspectivismo defiende la viabilidad de la interpretación realista ante tales casos (Massimi): los modelos representan aspectos de sistemas físicos que son relevantes desde perspectivas específicas, sea que estas estén relacionadas con nuestro interés por resolver determinados problemas, explicar fenómenos en particular o anticipar predicciones.

El modelamiento de propiedades y relaciones en términos de idealizaciones suscita, pues, problemas para el realismo científico.⁹ Consideremos el caso de la ley del péndulo. Giere (*Explaining science*) ilustra la derivación de esta ley a partir de la segunda ley dinámica de Newton, ofreciendo la siguiente formulación de la primera:

$$T=2\pi\sqrt{l/g}$$

en donde T es el período de tiempo de una oscilación completa; l es el largo del péndulo desde su centro hasta el pivote; y g es el valor de la fuerza de gravedad. Para resolver esta ecuación, se modela el sistema apelando a varias idealizaciones: primero, el péndulo no se encuentra sujeto a fricción; segundo, este tiene una cuerda l infinitamente larga; y tercero, su masa se concentra en un punto singular. Estas tres idealizaciones mentan propiedades ideales que ni siquiera el realismo científico esperaría imputar a un sistema y encontrarlas eventualmente ejemplificadas. Aun así, estas distorsiones juegan un rol al permitirnos capturar adecuadamente aspectos de la dinámica del sistema, así como derivar inferencias relevantes acerca de su conducta causal. Uno podría sentirse tentado a añadir variables que permitan *deidealizar* el modelamiento del péndulo (Giere 1988 77), pero sería inviable incluir en la ecuación todas las fuerzas que inciden en la dinámica de un péndulo particular.

Otras propiedades y relaciones ideales modeladas por leyes las encontramos en la teoría de gases ideales, cuya ley se formula de manera estándar así:

$$PV=nRT$$

ser abordado, además, desde la perspectiva de teorías de la verdad aproximada y otras teorías de la verdad basadas en estructuras parciales, que coexisten pacíficamente con concepciones selectivas de la verdad de nuestras teorías científicas (Soto y Bueno 2019; Soto y Romero-Maltrana 2019; Soto 2023).

- 9 El asunto ha sido abordado, aunque solo parcialmente y con consecuencias dispares. Véase Liu (1999 y 2004), Jones, Morrison (2005), Weisberg y Saatsi.

en donde P es la presión, V es el volumen, n es la cantidad de materia gaseosa, R es la constante para gases ideales, y T es la temperatura. Esta ley introduce la siguiente idealización: “los constituyentes moleculares de un gas son esferas perfectamente elásticas que no ejercen fuerzas y que tienen un volumen insignificante relativo al que es ocupado por el gas” (Morrison 2005 153). Pero ciertamente no esperamos imputar una forma esférica perfecta a las moléculas.

La lista de modelos que introducen idealizaciones es extensa. Con los casos mencionados es suficiente para poner de relieve su relevancia en el debate sobre realismo científico, particularmente cuando se trata de evaluar los compromisos ontológicos con inobservables. La concepción semántica no ofrece una interpretación unívoca, sino una serie de alternativas que difieren en su proximidad a la interpretación realista. Delineamos tres opciones. (i) En el extremo antirrealista, algunas aproximaciones sugieren que el modelamiento que descansa en la introducción de idealizaciones ofrece razones para interpretar nuestras teorías como instrumentos que, por ejemplo, son verdaderos acerca de los dominios observables, pero meramente adecuados a la experiencia en todo otro respecto (van Fraassen 1980, 1989). Aunque tengan poder explicativo o predictivo, como es el caso de las idealizaciones en la formulación de leyes, el compromiso ontológico con inobservables no encuentra asidero en la práctica. (ii) En una posición intermedia, otras propuestas sugieren que la introducción de idealizaciones en nuestros modelos nos permite generar esquemas para construir modelos de sistemas físicos (Cartwright; Hacking). Pero incluso acá la interpretación realista de propiedades y relaciones ideales está sujeta a cuestionamiento, porque, aunque se reconoce que ellas contribuyen a robustecer el poder explicativo y predictivo, no satisfacen estándares representacionales que garanticen la verdad de las idealizaciones y la realidad de las propiedades y relaciones que describen. (iii) En el extremo realista encontramos posiciones que defenderán la realidad de las propiedades y relaciones que introducen las idealizaciones en el modelamiento de sistemas físicos. French y Saatsi nos instan a asumir que la introducción de idealizaciones nos permite capturar la estructura fundamental de la realidad. En lugar de que su verdad se restrinja al funcionamiento de otros tantos modelos (opción *i*) o cuya verdad es abandonada a favor del poder explicativo (opción *ii*), se sostiene que el formalismo matemático que se emplea en la formulación de idealizaciones nos informa acerca del espacio modal de posibilidad y necesidad de los fenómenos en determinados dominios.

No necesitamos describir en detalle las propuestas (i-iii). Basta con apreciar que las diversas alternativas dentro del marco de la concepción semántica de las teorías no ofrecen un resultado unívoco acerca de las

consecuencias de la introducción de idealizaciones en la defensa del realismo científico. La introducción de idealizaciones es bienvenida en la medida en que permite precisar el poder inferencial físicamente informativo acerca de aspectos relevantes de ciertos dominios físicos. En el caso de la ley newtoniana de gravitación universal, idealizamos la representación de, digamos, la tierra y el sol como esferas perfectas cuyas masas se concentran en un punto ideal con el objetivo de facilitar la solución de la ecuación. Y en el caso de la ley de gases ideales representamos los constituyentes moleculares de un gas como esferas perfectamente elásticas que no ejercen fuerzas y que tienen un volumen relativamente insignificante con el objetivo de derivar inferencias físicamente informativas acerca de la conducta de los gases en sistemas que —asumimos— se encuentran perfectamente aislados de influencias externas.

Conclusión y desafíos vigentes

En este trabajo hemos examinado la viabilidad del realismo científico dentro del marco de la concepción semántica de las teorías. Hemos analizado el tránsito desde la concepción sintáctica a la concepción semántica de las teorías científicas, enunciando el desafío de Chakravartty, el cual destaca que el realismo científico enfrenta problemas similares en ambos marcos interpretativos. Igualmente, hemos empleado el caso de la concepción de la similitud, dentro del marco de la concepción semántica, para evaluar la neutralidad de esta teoría de la representación científica en vistas de los objetivos del realismo científico. En línea con ello, nuestro análisis de la teoría DEKI ha puesto de relieve que el lenguaje es indispensable, como lo esperaban las versiones iniciales de la concepción semántica: descripciones lingüísticas son requeridas en nuestra formulación de teorías científicas para nutrir de contenido físico nuestras mejores teorías (o sus conjuntos de modelos respectivos). Y hemos examinado el caso de las idealizaciones en leyes de la naturaleza en el contexto de la defensa del realismo científico, destacando, una vez más, que la resolución de problemas en torno al realismo científico depende, en última instancia, de cuestiones relativas a nuestra interpretación del carácter de las idealizaciones en ciencias y del carácter de las leyes de la naturaleza, las cuales se prestan, por igual, para interpretaciones realistas y antirrealistas de las ciencias.

Ciertamente, nuestra investigación sobre el modelamiento y la representación de inobservables en el contexto de deki admite una serie de investigaciones paralelas o sucesivas que convendría llevar a cabo. Las preguntas que quedan pendientes son diversas. Entre ellas, ¿qué teoría de la idealización acomoda de mejor manera las peculiaridades de las prácticas de modelamiento y representación científica? Más aún, considerando aquellas idealizaciones que conducen a rendimientos epistémicos (explicativos o predictivos) sorprendentes, ¿cómo podemos dar cuenta

de tal éxito si asumimos que tales idealizaciones son falsas o que refieren a dominios acerca de cuyo estatus ontológico no tenemos evidencia? Con respecto a la centralidad de los inobservables en los que se ha concentrado parte importante del debate sobre realismo científico, nuestra investigación deja a la vista que los desarrollos recientes del debate sobre modelos y representación científica permiten perfilar con nuevos matices argumentos que son considerados tradicionales. Las idealizaciones, junto con las abstracciones, nos informan acerca de espacios de posibilidades y necesidades que recientemente han sido abordadas por lecturas modales del modelamiento y de la representación científica. Una vez más, en este punto, los debates en torno al realismo científico pueden obtener nuevas herramientas para el análisis, sin limitar sus argumentos a las inferencias a la mejor explicación o a los argumentos del milagro. Por lo pronto, solo podemos mencionar estos puntos, que requieren mayor elaboración en trabajos independientes.

Agradecimiento. El Dr. Cristián Soto agradece a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID, Chile), a través del FONDECYT Regular 1251294 (IR Cristián Soto), por financiamiento para llevar a cabo parte de la investigación cuyos resultados se incluyen en el presente artículo.

Bibliografía

- Bell, John y Alan Slomson. *Models and ultraproducts: An introduction*. Amsterdam, North-Holland Publishing, 1974.
- Boolos, George, John P. Burgess y Richard Jeffrey. *Computability and logic*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- Borge, Bruno. “¿Soluciona el descriptivismo causal el problema de la referencia de los términos teóricos?” *Ideas y valores* 66.163 (2017): 125-151.
- Borge, Bruno. “El enfoque sintáctico como marco para el Realismo Estructural Óntico.” *Eidos* 29 (2018): 279-312. <http://dx.doi.org/10.14482/eidos.29.9492>
- Carnap, Rudolf. “Testability and meaning.” *Philosophy of science* 3.4 (1936): 419-471.
- Carnap, Rudolf. “Foundations of the Unity of Science: Toward an International Encyclopedia of Unified Science.” *Foundations of Logic and Mathematics*. Chicago: University of Chicago Press, 1939. 139-213.
- Cartwright, Nancy. *The dappled world: A study of the boundaries of science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- Chakravartty, Anjan. “The semantic or model-theoretic view of scientific theories and scientific realism.” *Synthese* 127.3 (2021). 325-345.
- Chang, Chen Chung y Jerome Keisler. *Model theory: Studies in logic and the foundations of mathematics*. Amsterdam: North Holland, 1992.
- Da Costa, Newton y Steven French. “The model-theoretic approach in the philosophy of science.” *Philosophy of Science* 57 (1990): 248-265.

- French, Steven. *The structure of the world: Metaphysics and representation*. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- French, Steven y James Ladyman. "Reinflating the semantic approach". *International Studies in the Philosophy of Science* 13.2 (1999): 103-121. <https://doi.org/10.1080/02698599908573612>
- Frigg, Roman. "Scientific representation and the semantic view of theories." *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia* 21.1 (2006): 49-65.
- Frigg, Roman. *Models and theory: A philosophical inquiry*. London – Nueva York: Routledge, 2023.
- Frigg, Roman y Stephan Hartmann. "Models in science." *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2020. plato.stanford.edu/entries/models-science/#OntWhaMod
- Frigg, Roman y James Nguyen. *Modelling nature: An opinionated introduction to scientific Representation*. Dordrecht, Springer, 2020.
- Giere, Ronald. *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press, 1988.
- Giere, Ronald. *Science without laws*. Chicago: The University of Chicago Press, 1999.
- Giere, Ronald. *Scientific perspectivism*. Chicago: The University of Chicago Press, 2006.
- Hacking, Ian. *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- Hodges, Wilfrid. *Model theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- Jones, Martin R. "Idealization and abstraction: A framework." *Idealization XII: Correcting the model: Idealization and abstraction in the sciences*. Editado por Martin R. Jones y Nancy Cartwright. Krakow: Rodopi, 2005. 173-218.
- Ladyman, James. "What is structural realism?" *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 29.3 (1998): 409-424.
- Laymon, Ronald. "Idealization and the testing of theories by experimentation." *Observation, experiment, and hypothesis in modern physical science*. Editado por Peter Achinstein y Owen Hannaway. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985. 147-173.
- Liu, Chang. "Approximation, idealization, and laws of nature". *Synthese*, vol. 118, 1999, pp. 229-256.
- Liu, Chang. "Laws and models in a theory of idealization." *Synthese* 138.3 (2004). 363-385.
- Lutz, Sebastian. "What's right with a syntactic approach to theories and models?" *Erkenntnis* 79.8 (2014): 1475-1492.
- Massimi, Michela. *Perspectival realism*. Oxford: Oxford University Press, 2022.
- Mcmullin, Ernan. "Galilean idealization." *Studies in History and Philosophy of Science, Part A* 16.3 (1985): 247-273.
- Morrison, Margaret. "Approximating the real: The role of idealizations in physical theory." *Idealization XII: Correcting the model. Idealization and abstraction in the sciences*. Editado por Martin. R. Jones y Nancy Cartwright. Krakow: Rodopi, 2005. 145-172.

- Morrison, Margaret. *Reconstructing reality: Models, mathematics, and simulations*. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- Morrison, Margaret y Mary Morgan. "Models as Mediating Instruments." *Models as mediators: Perspectives on natural and social science*. Editado por Mary S. Morgan y Margaret Morrison. Cambridge University Press, 1999. 10-37.
- Saatsi, Juha. "Models, idealisation, and realism." *Models and inferences in science*. Editado por Emiliano Ippoliti, Francesco Sterpetti y Thomas Nickles. Dordrecht: Springer, 2016. 173-190.
- Soto, Cristián. "The Epistemic Indispensability Argument". *Journal for General Philosophy of Science*, vol. 50, 2019, pp. 145-161. <https://doi.org/10.1007/s10838-018-9437-9>
- Soto, Cristián. "Realismo Selectivo: Tres Estrategias y Nuevos Desafíos." *Revista Instante – UEPB*, 2 (2023): 143-174.
- Soto, Cristián. *Leyes de la Naturaleza: Historia, Filosofía y Ciencias*. Tecnos, 2024.
- Soto, Cristián y Otávio Bueno. "A Framework for an Inferential Conception of Physical Laws." *Principia: An International Journal of Epistemology* 23.3 (2019): 423-444. <https://doi.org/10.5007/1808-1711.2019v23n3p423>
- Soto, Cristián y Diego Romero-Maltrana. "Local Selective Realismo: Shifting from Classical to Quantum Electrodynamics." *Foundations of Science* 25 (2019). 955-970. <https://doi.org/10.1007/s10699-020-09663-3>
- Suárez, Mauricio. "Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism." *International Studies in the Philosophy of Science* 17.3 (2023): 225-44. <https://doi.org/10.1080/0269859032000169442>
- Suárez, Mauricio. "An Inferential Conception of Scientific Representation." *Philosophy of Science* 71.5 (2004): 767-779. <https://doi.org/10.1086/421415>
- Suppe, Frederick. "The search for philosophic understanding of scientific theories." *The structure of scientific theories*. Editado por Frederick Suppe. Illinois: The University of Illinois Press, 1974. 3-241.
- Suppe, Frederick. *The semantic conception of theories and scientific realism*. Illinois, The University of Illinois Press, 1989.
- Suppes, Patrick. "A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences." *Studies in the Methodology and Foundations of Science: Selected Papers from 1951 to 1969*. Editado por Patrick Suppes. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1960. 10-23.
- Van Fraassen, Bas. *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press, 1980.
- Van Fraassen, Bas. *Laws and symmetry*. Oxford: Oxford University Press, 1989.
- Van Fraassen, Bas. "The Criterion of Empirical Grounding in the Sciences." *Bas van Fraassen's Approach to Representation and Models in Science*. Editado por Wenceslao González. Dordrecht, Springer, 2014. 79-100.
- Weisberg, Michael. "Tree kinds of idealization." *Journal of Philosophy* 104.12 (2007): 639-659.