



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

**LA IDEALIZACIÓN CIENTÍFICA, USO Y
CONTRIBUCIÓN EN LA PRÁCTICA CIENTÍFICA:
UN ENFOQUE PLURALISTA**

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

P R E S E N T A:
MÓNICA LIVIER AGUILAR MARTÍNEZ

TUTOR: DR. SERGIO F. MARTÍNEZ MUÑOZ
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco sobre todo al Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico que me brindó durante el período de Agosto del 2010 a Agosto del 2012 por la beca 60307 con número de registro 376506, y a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) al proyecto No. 133345 “Racionalidad, Razonamiento y Cognición”, para la realización de ésta tesis.

Expreso mi profundo agradecimiento al Dr. Sergio F. Martínez Muñoz por aceptar dirigir esta tesis. Su dirección y comentarios en el transcurso de estos dos años me son invaluable pues no sólo he aprendido sobre un tema que me emociona e interesa sino también acerca de nuevas formas de hacer filosofía y a esforzarme por expresarla.

Agradezco al Dr. Álvaro Peláez Cedrés, Dr. Axel Barceló Aspeitia, Dr. Elías Okón y Dr. Alfonso Arroyo-Santos por sus comentarios, observaciones y sugerencias que contribuyeron sustancialmente a la mejora de éste trabajo, nuevamente gracias por su tiempo y atención. Gracias también al Posgrado en Filosofía de la Ciencia y al Instituto de Investigaciones Filosóficas por la oportunidad que me han brindado para fortalecer y continuar con mi formación académica.

Finalmente, quiero mencionar que este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo que me han brindado mi familia. Gracias Andrés y Clara, su ejemplo me ha enseñado la constancia y la entrega que debe tener todo mi trabajo. A Sandra y Alejandra por su amor incondicional y por los regaños que merecía al descuidar mi existencia por querer lograr más esencia. También agradezco mucho a mis amigos pues durante todos estos años su afecto y motivación han hecho que continúe desarrollándome como persona. Especialmente agradezco a Miguel L. Paleta, Sinuhe Correa y Eduardo Luque por las constantes pláticas y discusiones que entablamos y que me han ayudado a comprender mejor algunos aspectos de aquello que consideramos importante, la filosofía.

O sancta simplicitas! ¡Dentro de qué simplificación y falseamiento tan extraños vive el hombre! ¡Imposible resulta dejar de maravillarse una vez que hemos acomodado nuestros ojos para ver tal prodigio! [...] A la ciencia, hasta ahora, le ha sido lícito levantarse únicamente sobre este fundamento de ignorancia, que ahora ya es firme y granítico; a la voluntad de saber sólo le ha sido lícito levantarse sobre el fundamento de una voluntad mucho más fuerte, ¡la voluntad de no-saber, de incertidumbre, de no-verdad! No como su antítesis, sino - ¡como su refinamiento! Aunque el lenguaje, aquí como en otras partes, sea incapaz de ir más allá de su propia torpeza y continúe hablando de antítesis allí donde únicamente existen grados y una compleja sutileza de gradaciones [...] Sin embargo, acá y allá nos damos cuenta y nos reímos del hecho de que la mejor ciencia sea precisamente la que más quiere retenernos dentro de este mundo *simplificado*, completamente artificial, fingido, falseado, porque ella ama, queriéndolo sin quererlo, el error, porque ella, la viviente, - ¡ama la vida!

Friedrich Nietzsche, El espíritu libre 24, *Más allá del bien y del mal*.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

LA IDEALIZACIÓN CIENTÍFICA, USO Y CONTRIBUCIÓN EN LA PRÁCTICA CIENTÍFICA:

UN ENFOQUE PLURALISTA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

P R E S E N T A

MÓNICA LIVIER AGUILAR MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. SERGIO F. MARTÍNEZ MUÑOZ



Índice

Introducción / 1

- I. Un enfoque de la idealización científica: La idealización galileana / 12
 1. Ernan McMullin y la idealización científica / 12
 2. Dos tipos de operación de la idealización galileana / 15
 - 2.1 Idealización constructiva /16
 - 2.2 Idealización causal /22
 3. Cuestionamientos a la idealización Galileana / 26

Conclusiones y direcciones /29
- II. McMullin y Cartwright: leyes teóricas, explicación e idealización causal /31
 1. Cartwright: leyes teóricas y leyes fenomenológicas / 34
 2. Cartwright y la idealización científica / 39
- III. Morrison y la idealización científica: No acumulación y proliferación / 45
 1. Idealización y aproximación
 - 1.1 Des-idealización como descripción de estados físicos posibles / 51
 2. Des idealización: desarrollo acumulativo o proliferación de modelos. El caso de la ley de gases ideales y ley van der Waals / 52
 3. Dos tipos de idealizaciones: computacional y predictiva / 54

Conclusión y Direcciones / 57
- IV. Usos y metas de la idealización científica: un enfoque pluralista / 59
 1. Weisberg: tres tipos de idealización científica y los ideales representacionales / 62
 2. Idealización de modelos múltiples: pluralidad de idealizaciones / 67
 3. Weisberg, la pluralidad de idealizaciones y el realismo científico / 70

Conclusiones y direcciones 7 71
- V. Conclusiones / 73

Bibliografía / 78

Introducción

Una discusión en torno a la noción de idealización científica contiene distintos puntos de partida, problemática y énfasis respecto a la manera en que trate específicamente las propiedades de las idealizaciones – o algunas de ellas-, de su proceso, su forma de operar, productos y consecuencias en la práctica científica. Por ejemplo, una de las principales problemáticas en torno a la idealización es la determinar cuál es la naturaleza de los productos epistémicos fruto de la introducción y uso de idealizaciones en la ciencia, o entendido de otra manera, se discute sobre cómo las idealizaciones científicas pueden producir conocimiento o entendimiento acerca del mundo. El debate en este punto se encuentra en argumentar que, dado que la idealización, entendida muy generalmente, implica la introducción de distorsiones (o de algún otro elemento que implique la idealización) se necesita dar cuenta del tipo de logro, proceso o producto epistémico que tiene y su repercusión en la ciencia, tanto en su práctica como en el *corpus* de conocimiento que consideramos como científico.

Las propuestas se dividen en considerar primero, si el logro epistémico es uno asociado con el conocimiento, en donde la principal tensión se encuentra en cómo dar cuenta de la caracterización tripartita del conocimiento, aquella que caracteriza al conocimiento como creencia verdadera y justificada. Si la idealización implica la introducción de algún supuesto falso (al omitir, distorsionar o un involucrar un elemento ficticio, por ejemplo) entonces ¿cómo se obtiene una creencia justificada y verdadera? La gama de respuestas se pronuncia en sostener que el conocimiento que produce la idealización es fáctico, cuasi-fáctico o que no es fáctico, esto es, que involucra o no la verdad de la proposición que se cree. Por las dificultades que representa asociar a la idealización con la obtención de conocimiento, otros autores sostienen que es mejor concebir a las idealizaciones como produciendo entendimiento científico (Elgin; 2007; 2009. Martínez; 2009. Mizrahi; 2011). Ésta noción, se considera, permite que la introducción de idealizaciones sea asociado con un logro epistémico fuerte, aunque no sea el de conocimiento en su acepción tripartita. Otro problema en torno a las idealizaciones se encuentra dado por una preocupación lógica, donde la problemática se concentra en responder cómo de un sistema que contiene premisas falsas se puede derivar conclusiones verdaderas.

Por otra parte, también se intentar determinar cuál es la relación entre los productos de la idealización y el mundo. Las respuestas por distintas posturas realistas, instrumentalistas, anti-realistas y constructivistas debaten sobre cómo es que se debe entender éste tipo de relación, definiéndola, o bien, por algún tipo de isomorfismo (Van Fraassen; 1980), reconocimiento de similitudes (Giere; 2004), o establecimiento de estructuras causales (Cartwright; 1983), etc. La relación entre éste nivel de discusión y el anterior se produce al distinguir el marco metafísico en el que se define la relación de la idealización con los sistemas reales y entonces cuestionar cuál es estatus o tipo de entendimiento que proporcionan las idealizaciones y cómo justificar su introducción en nuestro conocimiento acerca del mundo i.e. se debate en torno al estatus epistemológico de las idealizaciones.

El análisis del diseño, la construcción y el uso de las idealizaciones que juegan un papel en la práctica científica es otro punto de partida para comprender la manera en que la ciencia ha logrado representar, producir e indagar en el conocimiento que distinguimos como científico. En este contexto, el estudio sobre la idealización y su rol en la constitución de conocimiento científico ha tomado distintos caminos que convergen en diferentes planteamientos acerca de su naturaleza, uso y rol en la práctica científica. El debate surge al intentar determinar primero qué es eso que llamamos o distinguimos como idealización científica. La discusión también se enfoca en debatir cuál es la función de la idealización al interior de la práctica científica, lo cual deriva en el desarrollo de múltiples enfoques que arguyen existen distintos roles de la idealización, por ejemplo, en la manera en que las idealizaciones operan en la construcción teórica de los modelos y su forma de aplicación.

Estos son, en términos generales, algunos de los elementos principales que integran la discusión en torno a la idealización científica como se ha llevado a cabo los últimos treinta años. A mi parecer los puntos de partida hasta ahora descritos, tienen una intrínseca relación que debe tomarse en cuenta. Lo que sostengo es que para dar cuenta de la relación metafísica y del logro epistémico asociado a la idealización, se debe primero, reconocer y tomar en cuenta los diferentes tipos de idealizaciones empleados en la práctica científica, y segundo, la manera en que las distintas idealizaciones son construidas y aplicadas de acuerdo al propósito de satisfacer distintas necesidades científicas, o dicho de otra manera, tomar en cuenta los diferentes *procesos* por los cuales se obtienen, constituyen y validan las idealizaciones, cada uno de los cuales responde a distintos fines y contextos científicos. De ésta manera será

posible entonces determinar, qué tipo de relaciones tienen las idealizaciones con el mundo, y sus consecuencias en el conocimiento (o entendimiento) científico que tenemos de él.

Cuestionar directamente cuál es la relación entre la idealización y el mundo, o cuál es el logro epistémico de la idealización científica *simpliciter*, no constituye una buena estrategia para un análisis entorno a ésta noción, pues se omite, de manera sistemática, las distintas características de las idealizaciones y los diferentes tipos de procesos que puedan involucrar, lo cual resulta en una visión demasiado general y, al mismo tiempo, restringida de la noción de idealización. Dicho esto, sugeriré que antes de dar una postura con respecto a estas preocupaciones, en primer lugar, se debe cuestionar e identificar cuáles son los usos y contribuciones de las idealizaciones en la práctica científica y, en segundo término, enfatizo que las preguntas acerca de cómo producimos las idealizaciones y qué papel juegan en la ciencia, debe obtener una respuesta que tenga en consideración los diferentes contextos y fines científicos por los que su uso y construcción es solicitado. De ésta manera, al señalar los distintos procesos que se llevan a cabo al construir o emplear idealizaciones y sus objetivos, es posible determinar las relaciones específicas que tienen con el mundo y con el conocimiento científico.

En este sentido, el presente trabajo pretende dar cuenta de la reconstrucción filosófica en torno a la idealización científica sin centrarse en la búsqueda de demarcar un único concepto que dé cuenta de su naturaleza y uso, sino uno que dé cabida a diferentes conceptos sobre la idealización, cada uno de los cuales es relevante a los diversos contextos científicos. Es importante hacer notar que, aunque no es mi propósito tratar con detenimiento los problemas metafísicos que surgen al introducir y emplear idealizaciones en las representaciones o prácticas científicas y que este tipo de problemáticas responden a preguntas de otro nivel, no se puede minimizar el hecho de que este tipo de discusiones juegan un rol significativo en los distintos planteamientos acerca de la idealización, dado que algunas de las características de su operación, justificación y productos dependen, en cierta medida, de la postura metafísica a la que se suscriba.

Mi intento por analizar los distintos conceptos de la idealización científica desde distintas posturas filosóficas opera bajo el supuesto de que, más allá de los compromisos metafísicos que se establezcan en la relación entre las formas de idealización y mundo, las

caracterizaciones producidas son pertinentes en tanto que cada una expresa y analiza distintas formas de operación y productos de la idealización como son llevadas a cabo en diferentes contextos científicos. Esta diversidad de formas de entender a la idealización deben considerarse si se quiere entender las distintas maneras en que la práctica y el conocimiento científico se constituyen y desarrollan; bajo el entendido de que las complejas interacciones entre el proceso de construcción de teorías y el desarrollo experimental tienen lugar en una actividad científica que se supone como constructiva, creativa, inventiva e interventora.

Los distintos conceptos acerca de la idealización no sólo se centran en determinar las relaciones que su empleo fija entre la teoría y el mundo, sino también en comprender su uso en la estructura interna de la teoría, en sus transformaciones y en la relación entre elementos propios de la teoría (en un tipo de relación intrateórica) y cuyo empleo también puede extenderse a la comprensión de las relaciones con otras teorías (en un tipo de relación interteórica¹). Además, por ejemplo, el empleo de idealizaciones en la construcción de experimentos físicos no es el precisamente el mismo que en la elaboración de experimentos mentales.

Es atendiendo la variedad de contextos científicos que es posible pensar la diversidad de conceptos acerca de la idealización. Tal heterogeneidad no socava la pretensión de obtener un entendimiento acerca de sus formas de proceder y usos, simplemente exige que su planteamiento sea pensado dentro de una diversidad de contextos de aplicación y en relación a distintos propósitos o fines científicos, todos ellos relevantes para las múltiples necesidades científicas en donde su empleo es solicitado. Quiero poner énfasis en ésta última cuestión. No se está planteando que no haya una única estructura común a las formas de operar de la idealizaciones, considerando que, la única característica que comparten estos procesos es nominal, pues refiere -en cada caso- a formas de operar y productos distintos, y que por lo tanto, no es posible realizar un estudio sistemático acerca de la noción de idealización científica. Ni tampoco que se sobre simplifique o generalice, y se establezca haya una única estructura común a todos los tipos de idealización. Sino que, atendiendo los distintos procesos y productos de la idealización es que se pueden identificar las distintas estructuras que resultan

¹ Ejemplo de ello podría mostrarse en el uso de idealizaciones implicadas para comprender la relación entre dos distintas teorías, como entre mecánica cuántica y la teoría de la relatividad o en la termodinámica, e incluso entre teorías de ciencias distintas, como las relaciones que contienen disciplinas como la bioquímica, la fisicoquímica, etc.

del uso de idealizaciones, que si bien comparten algunas características, producen una especificidad y un tipo de actividad particular que no son reducibles entre sí. Mi postura es que, es justo por el análisis en torno a la noción de idealización que nos damos cuenta que existen distintos procesos bajo los cuales se entienden la construcción, modos de operar, y usos de idealizaciones que no son, completamente, reducibles unos a los otros. Mi énfasis radica en mostrar que las distintas conceptualizaciones acerca de la idealización dan lugar para comprender las diversas maneras y productos que se obtienen cuando un investigador idealiza o emplea idealizaciones; tanto en la producción de distintos modelos (teóricos, fenomenológicos, de datos, causales, etc.) como en el diseño de experimentos (de laboratorio, mentales, etc.) u otro contexto. Esta variedad de formas de entender a la idealización permite considerarla, por lo menos, como una colección de prácticas que involucran varias y diferentes técnicas, herramientas, procesos, dispositivos y elementos en su formulación, aplicación y uso.

La propuesta de Ernan McMullin (1985) en torno a la idealización científica es un punto paradigmático para comenzar a dar cuenta de éste planteamiento². McMullin caracteriza a la idealización como el simplificar deliberado de algo complicado (una situación, una teoría, un concepto, etc.), con el fin de obtener algún entendimiento acerca del mismo. Para éste autor, la idealización no sólo involucra la introducción de simplificaciones, sino también la omisión y distorsión de algunos elementos del *explanandum*. La idealización puede ser llevada a cabo al introducir un formalismo matemático en una situación física que permita el trato de los elementos del *explanandum* para su cálculo y cómputo³; esto es a lo que McMullin llama ‘idealización matemática’. No obstante, la integración de un formalismo matemático en las idealizaciones no es un requisito necesario, también puede integrar herramientas

² Leslek Nowak (1992; 1994; 2000) presenta un planteamiento bastante vasto e interesante en torno a la idealización científica que es digno de un estudio profundo y específico que muestre la manera en el autor desarrolla las consecuencias lógicas, epistémicas y metafísicas de dicha noción. No obstante, para los fines de este trabajo no me es posible introducir su propuesta con el debido cuidado que le merece, sin embargo creo que algunas de sus motivaciones y preocupaciones quedan plasmadas, entre ellas enfatizo aquella que muestra las distintas maneras en que se puede pensar el uso de idealizaciones en la práctica científica: (a) idealización como un método de transformación de datos empíricos en "hechos científicos"; (b) la idealización científica como un método de construcción de las nociones científicas; (c) la idealización como una falsificación intencional que no intenta más que ser verosímil, (d) la idealización como una forma de construcción bajo el formalismo matemático el cual sirve como un modelo de la realidad impreciso; (e) la idealización como una forma de abstracción que aísla lo que es relevante o esencial en la aparición de un fenómeno (Nowak; 1992: 9-10).

³ La palabra ‘cómputo’ refiere a una operación o un cálculo matemático para obtener un resultado. En el contexto de la idealización galileana, como se verá más adelante, el cómputo de los elementos de un fenómeno por algún tipo de formalismo se realiza para facilitar el trato de tal situación problemática. Su empleo permite la construcción de modelos teóricos y experimentos de los cuales se derivan explicaciones a través de leyes.

representacionales y experimentales, como diagramas e instrumentos de laboratorio. Para dar cuenta de distintas formas de proceder que involucra la idealización, McMullin nombra a este tipo de idealización como ‘galileana’.

McMullin plantea que la idealización galileana opera de dos distintas formas. Cuando la simplificación opera en la situación problemática misma, se obtiene una ‘idealización causal’ cuya importancia reside en facilitar la *manipulación de los elementos* –lo cual posibilita el diseño y ejecución de experimentos físicos y mentales-. Por otra parte, si la simplificación es llevada a cabo en la representación de una situación problemática entonces tenemos el caso de una ‘idealización constructiva’, la cual permite la *construcción de modelos⁴ teóricos*. Uno de los fines y productos comunes a ambos tipos de idealización es la formulación y establecimiento de leyes teóricas, desde las cuales se trazan explicaciones. Una vez que es entendido cómo opera el modelo o fenómeno, a estos dos tipos de operación les sigue un proceso de des-idealización en el que los elementos previamente omitidos o simplificados son nuevamente integrados, tanto para la corrección de modelos o bien para la aplicación de estos y de la cual se obtiene una descripción más precisa y completa acerca de su *explanandum*. El examen de este enfoque se presenta en el primer capítulo de este trabajo.

El planteamiento de McMullin representa un punto paradigmático sobre el cual han surgido distintos tratamientos al problematizar algunos de sus supuestos y conclusiones, y que consideran otros contextos y formas de entender a la idealización científica. Uno de los cuestionamientos más importantes a un enfoque como el que McMullin pretende sustentar es el elaborado por Nancy Cartwright (1983). En el planteamiento de McMullin, el proceso de des-idealización opera bajo el supuesto de que la complejidad del fenómeno gradualmente integrada se explica en el modelo teórico o experimento por una relación de correspondencia o isomorfismo. En la medida en que el proceso des-idealización se lleva a cabo, la estructura del modelo y sus explicaciones son cada vez más verdaderas –aunque sea de forma aproximada-.

⁴ Por el momento no me es posible, y me parece, no es conveniente desarrollar una caracterización precisa acerca de lo que se entiende por modelo. El término además tiene diferentes sentidos para diferentes contextos, problemáticas o personas, por lo cual la misma caracterización es un punto de partida para enredadas y largas discusiones en la literatura de la filosofía de la ciencia dedicada a éste tema (véase por ejemplo Morrison 1999, Giere 2004 y Frigg&Hartmann, 2012). Por ahora basta conservar un sentido intuitivo que conciba a los modelos como una representación de un fenómeno o un sistema de elementos que busca analizar, describir o dar cuenta de determinada situación o fenómeno específico. Por el momento se habla de modelo teórico, el cual se entiende, a grandes rasgos como un modelo propuestos desde el marco de una teoría, sin embargo, existen otros modelos que bien podrían cumplir o no con este requisito, p. e. modelos de datos, causales, instrumentales, etc.

Con ello, McMullin arguye por un realismo científico en el que, por una parte, se afirma la independencia de los tratamientos teóricos del mundo y, por otra parte, arguye por una noción de aproximación a la verdad. La unión de ambos supuestos muestra a la idealización como una actividad que permite la explicación de fenómenos a través de leyes teóricas que, gradualmente y en virtud de procesos de des-idealización exitosos, constituye conocimiento cada vez más completo y verdadero. Cartwright debate la postura subyacente a un tipo de enfoque como el que desarrolla McMullin al argumentar que esta forma de planteamiento tiende a viciar nuestro entendimiento acerca del mundo al imponer una imagen en donde se supone que la Naturaleza emplea los medios más simples a partir de un pequeño grupo de leyes fundamentales o teóricas.

Sumado a ello, Cartwright rechaza que el entendimiento de situaciones causalmente complejas se produzca por la combinación de este tipo de leyes i.e. por un proceso de composición de causas. Las críticas también se dirigen en contra de la extrapolación del patrón explicativo producido a partir de las situaciones idealizadas al comportamiento de las situaciones reales complejas, olvidando que son los agentes quienes establecen los factores que son relevantes para la explicación del fenómeno. Los cuestionamientos y críticas de Cartwright son desarrollados en la primer parte del segundo capítulo. En la segunda parte, presento algunos apuntes que esta autora hace acerca del papel de las idealizaciones en la práctica científica y su modelo piloto de la explicación científica. Ambos puntos señalan, a grandes rasgos, a los modelos como los sistemas que dan cuenta de los fenómenos a partir del marco de la teoría, y cuyo resultado no es la explicación por un pequeño número de leyes simples sino por la relación con variadas, múltiples y complejas leyes fenomenológicas, y por el establecimiento de relaciones causales. De acuerdo con Cartwright, distintos modelos son propuestos desde el la teoría para dar cuenta de sus diversos problemas y preocupaciones científicas; por lo cual, cada modelo es *elaborado* para dar cuenta de una problemática particular para la cual son relevantes distintos aspectos del fenómeno y en los cuales se introduce, muchas veces, distintos supuestos y elementos –como distorsión, omisión, ficciones- que sirvan para lograr sus objetivos. Un aspecto que deja abierto una propuesta como la de Cartwright es cómo distintos modelos e idealizaciones se interconectan para dar cuenta de situaciones o fenómenos complejos.

Ahora bien, de acuerdo con el planteamiento de McMullin, el proceso de des-idealización juega un papel doble, por una parte denota un proceso cercano al de la concretización (como el de la relación abstracto-concreto) por el cual la idealización integra la complejidad de aquellos elementos que fueron simplificados, y por otro, como el continuo refinamiento de los constructos por un desarrollo acumulativo. Este tipo de enfoque excluye la posibilidad de que varios modelos puedan dar cuenta de un mismo fenómeno pues supone el desarrollo de un único modelo cada vez más preciso y verdadero a causa de los procesos de des-idealización. Además, la concepción de la idealización como involucrando la simplificación u omisión de elementos relevantes para su trato y explicación como es propuesta por McMullin, requiere que se conozca de antemano cómo contribuyen o afectan los factores omitidos en la situación simplificada y cómo corregirlos al aplicarlos al sistema real, esto es, el proceso des-idealización asume que el investigador conoce de antemano el desvío o grado de aproximación a la realidad producido por la introducción de idealizaciones.

No obstante, el planteamiento de McMullin no parece viable si se rechaza un estándar bajo el cual se establezcan relaciones de aproximación a la realidad. Esta tesis es discutida por Margaret Morrison (2007). Morrison argumenta, siguiendo a Cartwright, que muchos de los modelos construidos al interior de la práctica científica contienen ciertos elementos e idealizaciones que operan sin una base sobre la cual fijar relaciones de aproximación a la realidad o de los cuales no es posible establecer un estándar de comparación en este mismo sentido, aún si son empleados como mecanismos generadores de predicciones. Además, de acuerdo con ésta autora, el uso de idealizaciones juega un rol más distintivo dentro de la construcción de teorías y de la aplicación de modelos en la práctica científica, más allá de proporcionar imágenes tratables caracterizadas por su acercamiento o alejamiento a la realidad, su papel puede también considerarse en un plano heurístico cuya virtud radica en la generación y desarrollo posibilidades físicamente realizables, lo cual excluye que la relación de aproximación a la realidad sea necesaria.

Además, arguye Morrison, en el enfoque de McMullin dos estructuras explicativas de un mismo nivel son incompatibles, sólo son consideradas si una es la corrección de la otra. Morrison objeta que cuando los elementos y supuestos de cada modelo son diferentes, entonces se tienen dos distintos modelos que no son reducibles entre sí, son estructuras incompatibles e independientes que intentan dar cuenta de problemas específicos. De acuerdo

con Morrison, la proliferación de modelos es necesaria en tanto que cada modelo busca dar cuenta de diferentes propósitos, no hay un desarrollo de un único modelo sino la construcción de múltiples modelos que responden a distintos fines científicos particulares e integrales. En consecuencia, la brecha entre modelo y realidad es dirigida dentro del contexto de cada uno de los modelos y no únicamente por una relación de aproximación a la verdad. En el capítulo tercero analizo las objeciones de Morrison al proyecto de McMullin y su propio enfoque acerca de la idealización científica.

Por otro lado, para Michael Weisberg (2007), un entendimiento más global acerca de la idealización científica se produce si tenemos en cuenta las metas que gobiernan su construcción y uso. El empleo de idealizaciones no tiene porque ser fijado por la obtención de un constructo que genere una única representación precisa y completa acerca de la realidad. Si bien éste puede ser uno de sus propósitos, el uso de idealizaciones en la práctica científica es aún más amplio, su empleo dependerá de los diferentes contextos en el que su introducción sea requerida y responderá a distintas necesidades epistémicas, prácticas y tecnológicas. Además, no es necesario que a toda idealización le proceda un proceso de des-idealización. Para Weisberg, y también de acuerdo a otros autores como Batterman (2009) y Catherine Elgin (2009), los modelos idealizados se conservan -en algunos casos- por su función explicativa. Para estos autores, la idea no niega la posibilidad realizar un refinamiento a algún tipo de constructo o la necesidad de otros tipos de modelos para los cuales los estándares de precisión, exactitud y completitud sean requeridos; como lo pone Elgin, es simplemente que para algunos modelos “la eliminación de idealizaciones no es un *desideratum*.” (Elgin; 2009:10).

La propuesta de Weisberg es particularmente interesante pues no solo propone criterios que guíen la elaboración de modelos idealizados sino que también presenta principios evaluativos que determinan el grado en que los modelos logran o no sus funciones. La idea de fondo es que las formas de operar de las idealizaciones llevan consigo un criterio de relevancia que dependerá de los fines y propósitos por los que las idealizaciones son formuladas y empleadas. En el capítulo cuarto expongo el tratamiento de Weisberg presentando los tres tipos de idealización que identifica –galileana, minimalista y de modelos múltiples- y su relación con los objetivos y metas que dirigen su uso y validación a los que llama ‘ideales representacionales’. La segunda sección la dedico específicamente a un análisis de la idealización de modelos múltiples, especialmente pongo énfasis en la virtud de éste tipo de

idealización al permitir la interrelación de distintos modelos para la producción de entendimiento científico de situaciones o fenómenos altamente complejos. En la tercera sección muestro el marco bajo el cual Weisberg sustenta la contribución de la idealización en el quehacer científico.

A grandes rasgos, la conexión que hago entre los distintos enfoques que aquí se plantean y que guían la línea relevante para dar cuenta del enfoque que propongo es la siguiente: parto del análisis del planteamiento de McMullin para mostrar distintas formas de operación de la idealización que él caracteriza como galileana, y, además de resaltar sus virtudes, también señalo sus limitaciones. Algunas limitaciones las discuto específicamente, en un segundo momento, con el planteamiento de Cartwright. A pesar de que la propuesta de Cartwright es formulada años antes que la de McMullin, expone en gran medida las consecuencias y los problemas que produce un entendimiento como el que se desprende de la idealización galileana de McMullin, sobre aquellos aspectos relacionados con la adopción de modelo nomológico-deductivo de la explicación y los supuestos subyacentes a las leyes teóricas. Además, tomo la propuesta de Cartwright para hacer énfasis en dos puntos importantes. El primero tiene que ver con el hecho de que, *cuando una idealización es propuesta para satisfacer determinados propósitos* (explicativos, predictivos, descriptivos, de precisión, completitud, etc.) *excluye que otros propósitos sean tratados simultáneamente*. El otro punto que enfatizo tiene que ver con el hecho de que la idealización no sólo debe ser pensada como involucrando la introducción de *simplificaciones, omisiones y distorsiones* dentro de un marco realista (específicamente por el marco de un realismo científico), sino que también involucra la introducción de *ficciones*, denotando un aspecto antirrealista.

Este último punto es continuado por Morrison para quien la idealización científica puede caracterizarse al establecer una relación de aproximación a la realidad, siempre y cuando conozca de antemano la medida en que la idealización introduce tal desvío y cómo éste puede ser calculado o eliminado. No obstante, señala Morrison, *existen idealizaciones que no pueden ser determinadas por este tipo de relación de aproximación*. Este segundo tipo de idealización involucra ficciones de las que no se sabe en qué medida son cercanas o lejanas a la realidad y sin embargo son útiles para establecer y predecir estados físicos concretos. Debido a que no todas las idealizaciones pueden ser consideradas por una relación de

aproximación a la realidad, para Morrison *las idealizaciones son elaboradas y constituidas con respecto a distintos fines y contextos particulares.*

Además, el planteamiento de Morrison responde a una preocupación expuesta por Cartwright: la manera en que se integran distintos constructos que involucran idealizaciones. Para McMullin la relación entre dos constructos o modelos se da por proceso de de des-idealización acumulativa, el modelo 2 es más preciso y completo en tanto involucra más elementos y es más real que el modelo 1. Morrison propone que el proceso de des-idealización también sea pensado a través de una *proliferación de modelos cuya interconexión no siempre es consistente, muchos modelos entran en tensión en tanto que cada uno establece y adopta distintos supuestos*, lo cual no es más que una consecuencia de los distintos contextos y fines a los cuales responde cada modelo. Weisberg explota las consideraciones hechas por McMullin, Cartwright y Morrison, aunque indirectamente. Al proponer una pluralidad de idealizaciones que dan cuenta de distintos ideales representacionales, Weisberg caracteriza distintas idealizaciones que refieren, en cierta medida, a los tipos de idealización propuestos por los autores anteriores (a la idealización galileana propuesta por McMullin, la idealización minimalista que captura las estructuras causales relevantes que también le importan a Cartwright, y la interconexión de distintos modelos por la idealización de modelos múltiples, aspecto enfatizado por Morrison), y también resalta el hecho de que *las distintas formas de operar de la idealización obtienen distintos productos, los cuales son juzgados por reglas de inclusión y fidelidad de acuerdo a los ideales representacionales que guiaron su construcción y uso.*

De esta manera se expone la línea relevante de la propuesta aquí planteada: argumentar que para responder a las problemáticas epistemológicas y metafísicas en torno a la idealización hacer falta primero preguntar e identificar cuáles son sus distintos usos y contribuciones en la práctica científica. Dar cuenta de ésta última cuestión requiere conocer los distintos fines y contextos en los que las idealizaciones son constituidas y aplicadas, los cuales delimitan diferentes procesos. Atendiendo estos procesos es que se muestra la diferencia entre las distintas conceptualizaciones acerca de la idealización científica aquí desarrolladas.

I. Un enfoque de la idealización científica: La idealización galileana

La presente sección tiene como objetivo analizar la propuesta de Ernan McMullin (1985) en torno a la idealización científica. Como se hará ver, su planteamiento contiene dos tesis principales: 1) la idealización científica es una herramienta metodológica que permite el entendimiento de los fenómenos físicos al facilitar la inferencia de leyes teóricas a través de la construcción de modelos o por la manipulación de los elementos de alguna situación problemática. 2) La idealización científica involucra una imagen en el que el resultado de la técnica es continuamente especificado y desarrollado conforme el avance de la ciencia. La especificación es producida a través de la sofisticación de sus resultados, lo cual es realizado por el proceso de des-idealización.

En la siguiente sección comienzo por exponer la propuesta de McMullin resaltando sus motivaciones y sus preocupaciones. Después analizo y ejemplifico los tipos de idealizaciones que el autor identifica de acuerdo al campo de aplicación y forma de operar de cada uno. En la segunda parte se discuten sus tesis y supuestos con cinco principales cuestionamientos, remitiéndome principalmente a aquellos planteados por Margaret Morrison (2005) y Weisberg (2007).

1. Ernan McMullin y la idealización científica

En “Galilean Idealization” (1985), la problemática en torno a la idealización se expresa en los siguientes términos: si las técnicas empleadas para obtener conocimiento científico acerca del mundo ‘falsifican’ -en cierta medida- algunas características del fenómeno natural, entonces ¿cómo justificar que dichas técnicas permitan obtener conocimiento verosímil acerca del mundo?. Para intentar dar respuesta, McMullin se plantea dos objetivos: el primero, de orden sistemático, en el que se pretende investigar qué son las idealizaciones; y un segundo orden, el epistemológico, en el que se busca conocer las implicaciones epistémicas de la idealización en la ciencias naturales y desde ahí determinar si la idealización contribuye o no a la noción de verosimilitud en ciencia (Cf. McMullin; 1985: 247-248). McMullin caracteriza a la idealización como:

[...] una deliberada simplificación de algo complicado (una situación, un concepto, etc.) con el fin de lograr al menos un entendimiento parcial de tal cosa. Puede implicar una distorsión del original o puede simplemente significar un dejar de lado algunos componentes en un complejo a fin de concentrarse mejor en los restantes. (McMullin; 1985; 248.)⁵.

Una de las primeras consecuencias que se desprenden de esta caracterización es que la idealización busca simplificar los fenómenos llevándolos de un orden complejo a uno más simple, a un entorno artificial simplificado que evite la complejidad de los fenómenos naturales. Sin embargo, McMullin enfatiza que la idealización no debería entenderse como una forma de evadir la complejidad de la naturaleza sino lo contrario, hacer un uso cabal de este orden artificial y desde ahí entender dicha complejidad (Cf. McMullin; ídem).

Un tipo de formalización empleada para explicar los fenómenos naturales es el matemático. La aplicación de un formalismo matemático a una situación física es lo que McMullin considera como una idealización matemática. Lo que subyace a esta caracterización es una imagen de la práctica científica en la que el investigador hace uso de herramientas metodológicas para entender el mundo en su complejidad; un mundo que es independiente de dichas herramientas y que es su objeto de estudio, implicando de esta manera, la adopción de un tipo de realismo científico⁶ (McMullin; 1985:254).

Para dar cuenta de distintas formas de proceder que involucra la idealización, McMullin nombra a la idealización como ‘galileana’. Sin embargo dicha técnica no es propia de Galileo, su origen y desarrollo podría remontarse a las tradiciones platónicas⁷ e identificarse

⁵ Considero que debe hacerse explícito la manera de proceder de lo que ubico como los tres principales dispositivos a los que hace referencia McMullin en su caracterización: 1) La simplificación, como una herramienta metodológica que permite llevar la complejidad del fenómeno a un orden más simple. La simplificación es guiada por el propósito de facilitar el cómputo de los elementos o hacerlos más tratables tanto para su manipulación como para su representación. 2) La omisión, por la cual se deja de lado algunos aspectos o elementos presentes en el fenómeno con la intención de centrarse únicamente en aquellos que se consideren relevantes para producir un entendimiento acerca de la situación. Lo anterior no quiere decir que los aspectos omitidos no sean importantes o no afecten de alguna manera al objeto de estudio, sino que, por el momento, no son relevantes para el tipo de entendimiento que se está buscando. Desde este punto de vista la omisión y la simplificación están estrechamente vinculadas pues la omisión es ya un tipo de simplificación y la simplificación requiere de omisión. 3) La distorsión es la alteración deliberada del fenómeno considerándolo en un entorno que no le es ‘natural’ – por ejemplo, considerar el movimiento de los cuerpos en el vacío-; o introduciendo supuestos falsos acerca de la naturaleza del objeto –como un gas compuesto por partículas sin masa o puntuales.

⁶ Como se verá más adelante, la otra tesis que consolida la postura de realismo científico adoptada por McMullin se presenta al afirmar que la idealización opera sobre una relación de aproximación a la verdad.

⁷ La influencia platónica en Galileo puede ser mostrada en dos sentidos, primero en un sentido negativo, la obra de Galileo está dedicada en gran parte a debatir y negar las tesis aristotélicas –un aristotelismo escolástico cabe aclarar-, especialmente me refiero a aquellas concernientes al movimiento de los cuerpos. No es coincidencia que el interlocutor de Galileo sea siempre un aristotélico aferrado que busca defender las tesis de éste filósofo griego.

por algunos de los métodos de análisis de la Edad Media y parte del Renacimiento (McMullin; 1985: 248-250). No obstante, asociar la idealización con Galileo se debe -para McMullin- a que su geometrización del movimiento es uno de los primeros usos contundentes y exitosos de la técnica. Esta geometrización implica que sea atribuido un formalismo matemático – geométrico- a una situación física –el movimiento de los cuerpos. El problema con esta aplicación es, por una parte, que cuando las propiedades físicas son traducidas al lenguaje matemático las primeras pierden su naturaleza, distorsionándolas o dicho de otra forma ‘deja de lado el detalle cualitativo que constituye al singular físico *como* físico (McMullin; 1985: 249); y por otra, se enfrenta con el reto de responder cómo es que este orden matemático puede decirnos algo acerca de situaciones físicas. Para McMullin, la respuesta está en puntualizar que el fin de aplicar un formalismo matemático a un fenómeno físico es el de obtener un entendimiento acerca de la situación problemática que de otra manera sería imposible producir. Cuando se simplifica la complejidad del fenómeno lo que se hace es eliminar los impedimentos que obstaculizan el poder analizar, entender o manipular el fenómeno en estudio. Estos impedimentos⁸ son dificultades prácticas con las que el investigador se enfrenta al intentar llevar a cabo “las relaciones simples del sistema matemático dentro de la complejidad del orden material” (McMullin; 1985:251).

El segundo sentido es positivo, el método galileano tiene una fuerte influencia platónica, lo cual se muestra en la gran importancia que le da a las matemáticas para el trato de los fenómenos físico. No obstante el método galileano no sólo es matemático, un fuerte pilar de la nueva física que instaura tiene que ver con el importante papel que concede a los experimentos, experimentos que son matematizados.

⁸ La actitud de Galileo hacia el manejo de estas dificultades fue variable y gradual. Consideró que algunos impedimentos podían ser simplemente ignorados – e.g. posibles irregularidades en la superficies de planos inclinados-. O bien, hacer una lista de los diferentes impedimentos que imposibilitarían la aplicación del formalismo a la situación problemática y, a través de situaciones hipotéticas, imaginar *que pasaría si* tales dificultades se omitieran (Cf. Koertge; 1977:394) –e.g. ‘si la fricción del aire es despreciada, contamos con un plano y una esfera perfectamente lisos, entonces...’-. En caso de que algún impedimento afecte directamente al objeto de estudio, Galileo sugiere que su efecto sea calculado, cuantificándolo e integrándolo al formalismo para que deje de ser problemático. Otra forma de ‘cálculo’ se realiza al estimar en qué medida el formalismo matemático –como el geométrico- simplifica la situación fáctica –el movimiento de los cuerpos- (Koertge; 1977:402). Los impedimentos también pueden ser menguados cuando se crean dispositivos que obstaculicen su efecto sobre el objeto de estudio, lo cual generaría la construcción de nuevos instrumentos o técnicas experimentales. Otra forma de manejar a los impedimentos es manipulándolo para poder observar el grado de afectación que produce sobre el objeto de estudio y llevarlo hasta su punto límite ‘en el cual la perturbación es ausente’ (Koertger; 1977:408). Según Galileo, el desvío introducido por las técnicas de idealización -cuando es pequeño- puede ser ignorado –o calculado- para enfocarse mejor en las propiedades relevantes. Un desvío amplio podría ser permitido cuando las consecuencias explicativas producidas por la idealización están por desarrollarse o se encuentran en sus primeras etapas (McMullin; 1985:256).

Sin embargo, la idealización puede implicar un formalismo matemático o no. Muchas disciplinas científicas hacen uso de recursos matemáticos pues facilitan y amplían la comprensión acerca de su *explanandum*, mientras que para otras este no es un requisito necesario. Ejemplo de las primeras son la física o la geografía, y de las segundas la psicología y la antropología. Así mismo, McMullin apunta que, cuando Galileo intentó entender el movimiento de los cuerpos hizo uso de distintas herramientas, no sólo de índole matemática sino también representacional y experimental. No obstante, los diagramas simplificados utilizados por Galileo para explicar el movimiento de los cuerpos han cambiado a ser constructos teóricos más complejos, los cuales se pueden agrupar bajo la clasificación de modelos. Hay muchos y variados tipos de modelos (de datos, causales, analógicos, deterministas, etc.) y no sólo eso, “los modelos son entendidos con diferentes significados para diferentes personas” (McMullin; 1985:257) -para un computólogo, un lógico, un matemático o un físico, por ejemplo-.

Para McMullin todo modelo emplea idealizaciones en tanto que simplifica la estructura de su objeto de estudio (Cf. McMullin; 1985:258). Así entendidos, los modelos son estructuras postuladas de elementos, propiedades y relaciones que toman su contenido de las teorías desde los que son postulados, dicho de otra manera, ‘la teoría es el texto en términos del cual el modelo es especificado’ (McMullin; 1985:257). Del comportamiento del modelo se derivan inferencias que tienen el nombre de leyes teóricas. Los modelos o representaciones tentativas son planeados con el propósito de explicar un aspecto de un fenómeno natural y en la medida en que las leyes teóricas simulen el comportamiento de las regularidades naturales que buscan entender, el modelo puede ser considerado como explicativo. Con ello se entiende el fin de los modelos teóricos, por un lado permiten la fácil inferencia de las leyes teóricas desde la teoría y por otro, llevan a cabo el proceso de explicación de las regularidades o leyes empíricas.

2. Dos tipos de operación de la idealización galileana

McMullin distingue entre dos formas de operar de la idealización galileana: una en que la simplificación opera sobre la *representación conceptual* de un objeto –idealización constructiva-; la segunda como la simplificación de una *situación problemática* –idealización causal- (McMullin; 1985:255). El punto central de la primera es el posibilitar la *construcción*

de modelos; la importancia de la segunda radica en facilitar la *manipulación de los elementos*. Uno de los fines y productos comunes a ambos tipos de idealización es la formulación y establecimiento de leyes. Además, a los dos tipos de operación les sigue un proceso de des-idealización en el que los elementos previamente omitidos o simplificados son nuevamente integrados para la corrección de modelos o para la aplicación de estos. Aún así, el añadir la complejidad previamente omitida refiere a un proceso distinto en cada tipo de idealización. En el caso de la idealización constructiva se remite a la corrección continua de los modelos, en el caso de la idealización causal el proceso implica la suma de parámetros que permitan la concretización de la situación problemática.

Otra forma de entender los distintos tipos de idealización galileana es a partir de su relación con la noción de aproximación a la realidad. Como lo pone Mauricio Suárez (1999):

Existen, a grandes rasgos, dos métodos de aproximación de la teoría al mundo. Uno es la aproximación de la teoría a la situación problemática producida al introducir correcciones en la descripción teórica –la teoría es refinada para ser más cercana a la situación problemática. El otro es la aproximación de la situación problemática a la teoría por medio de la simplificación de la situación problemática misma. En el último caso la teoría se deja intacta, mientras la situación problemática es alterada; en el primer caso lo inverso es verdadero: la situación problemática se deja intacta, mientras la descripción teórica es corregida. (En Morgan & Morrison; 1999: 174. Mi traducción)

En las secciones posteriores analizo cómo proceden estos tipos de idealización junto con su característico proceso de des-idealización, comenzando con el tipo de técnica empleada en la construcción de modelos.

2.1 Idealización constructiva

Una idealización constructiva es producida cuando la simplificación se lleva a cabo en la representación conceptual de un objeto o situación. Una de sus principales virtudes es poner en marcha la construcción de los modelos teóricos, razón por la cual recibe su nombre. La idealización constructiva opera de dos distintas formas: en caso de que se simplifiquen u omitan propiedades que se sabe afectan de manera importante al fenómeno pero que impiden concentrarse en la situación particular que se busca representar, se tiene una idealización formal (Cf. McMullin; 1985:254). Si el constructo deja sin especificar algunos elementos o aspectos de éstos en tanto son considerados como irrelevantes para los propósitos explicativos

del momento, entonces se obtiene un proceso que involucra a una idealización material (Cf. McMullin; 1985:258).

Los dos aspectos de la idealización constructiva también pueden ser caracterizados si se toma en cuenta la dirección específica que cada uno toma durante el proceso de des-idealización. En la idealización formal, lo que sucede es que el modelo añade nuevamente los elementos que fueron omitidos; o puesto en otros términos, gradualmente se agrega al constructo la complejidad que fue simplificada, produciendo así un proceso de autocorrección del modelo, para señalar, por ejemplo, cómo los elementos del modelo se relacionan con otros elementos no involucrados y cómo el modelo puede dar cuenta de ellos. En el caso de la idealización material, la investigación y ampliación del modelo es por el tratamiento de las propiedades o relaciones que el constructo inicial no desarrolló, pues no eran parte de sus propósitos explicativos iniciales.

A continuación, presento y ejemplifico la forma específica en que procede cada tipo de idealización durante la construcción de modelos teóricos y la manera en que llevan su característico proceso de des-idealización.

a) Idealización formal

En la idealización formal el ejercicio de las simplificaciones u omisiones de los elementos del fenómeno son realizadas mientras la elaboración del constructo es llevada a cabo. El modelo obtenido de esta operación servirá para poner en marcha el proceso explicativo de un fenómeno particular. Se inicia entonces con la estructura más simple del objeto, aquella que retenga lo relevante y esencial del *explanandum* para su análisis (Cf. McMullin; 1985:259). Una vez logrado un constructo que capture lo esencial del fenómeno, las operaciones del modelo son exploradas y probadas confrontándolos con datos experimentales y añadiendo los elementos que fueron previamente omitidos. Es a causa del proceso de exploración y prueba que el constructo puede considerarse como una fuente de corrección continua abriendo camino a nuevos programas de investigación.

El proceso de des-idealización se lleva a cabo bajo el supuesto de que cada uno de los elementos integrados tendrá una explicación en el constructo original. Esto es, el constructo elaborado a partir del ejercicio de idealizaciones pretende capturar la estructura esencial del *explanandum*, y a partir del comportamiento de tal estructura, se derivan explicaciones; es así

que, en un segundo momento, los elementos excluidos inicialmente son integrados sobre una base desde la cual pueden ser explicados o señalan las líneas de investigación por las que el constructo debe guiarse y ser extendido. Las correcciones son entonces auto-sugeridas, el propio modelo las indica pues corresponden con los elementos inicialmente omitidos o simplificados. Para McMullin, éste proceso proporciona fuertes razones para considerar que la estructura y las consecuencias explicativas derivadas del modelo dan cuenta y corresponden a la *estructura real del explanandum*, aún si es sólo de forma aproximada (McMullin; 1985: 262). De manera negativa, si las correcciones ulteriores son hechas por modificaciones ‘*ad hoc*’, los elementos integrados correrían sin explicación, lo cual constituiría un defecto grave para el modelo. El proceso de des-idealización también tiene como supuesto y requisito que se tenga un conocimiento previo de cómo opera y cómo afecta cada uno de los elementos simplificados u omitidos (McMullin; 1985:261).

La idealización formal sirve para producir leyes teóricas que expliquen regularidades empíricas así como para descubrir nuevas leyes empíricas a partir de la integración de nuevos datos experimentales, consecuencia de una des-idealización exitosa. McMullin pone como ejemplo de idealización formal al modelo atómico del hidrógeno, analizado en la siguiente sección.

Ejemplo de idealización formal: el modelo atómico del hidrógeno

El modelo de Bohr surge como respuesta a las preocupaciones acerca de la inestabilidad de la materia comprendidas por el modelo atómico de su maestro Rutherford⁹. En pocas palabras, el problema con el modelo de Rutherford es que si el átomo está compuesto de un electrón y un protón -el primero con una carga negativa y el segundo una positiva-, y si las partículas cargadas y aceleradas emiten energía –como determinan las interacciones electromagnéticas-; entonces, en tanto el electrón pierda gradualmente su energía, el radio de la órbita disminuirá y se precipitará contra el protón, generando una colisión y con ello una inestabilidad en la estructura de la materia. Además, el modelo de Rutherford admite distancias arbitrarias de los electrones con respecto al núcleo, de manera que se aceptan distintos comportamientos para un mismo átomo. Finalmente, el modelo contiene un vacío explicativo al no dar cuenta de las

⁹ El modelo de Rutherford es el primero en representar a los átomos de la materia conformados por una ‘corteza’ (constituida por electrones) y un núcleo (compuesta de protones o carga eléctrica positiva) al estilo de un modelo planetario-.

líneas de espectro de los elementos, i.e. de la distribución de ondas electromagnéticas emitidas, particulares a cada elemento químico. Las líneas de espectro fueron determinadas experimentalmente por Johann Balmer al analizar la distribución de ondas del hidrógeno, y del que se desprende la constante de Rydberg¹⁰.

Para la construcción del modelo atómico, Bohr comenzó por el elemento químico más sencillo: el hidrógeno, el cual contiene un solo protón en su núcleo y a su alrededor se encuentra girando un electrón. Según McMullin, el modelo de Bohr contiene tres principales supuestos que muestran el uso de idealizaciones. (1) Se establece que el núcleo permanece en un estado de reposo y éste se sitúa en el centro del átomo; en consecuencia y en los términos de su teoría, esto equivale a sostener que el protón es mucho más grande y masivo que el electrón. (2) A diferencia del modelo de Rutherford, las órbitas de los electrones son circulares, estables y discretas. Si el electrón está en una de estas órbitas no irradia energía y sólo puede encontrarse en algunas de ellas. (3) El modelo omite los efectos relativistas por el movimiento rápido de los electrones pues modificarían su tamaño y distribución radial.

Este modelo, aún con sus múltiples simplificaciones, permitió dar cuenta de muchas de las deficiencias del modelo antecesor. Da cuenta del orden de magnitud del radio atómico lo cual permite determinar el tamaño del átomo. La forma circular describe la longitud de onda de la órbita cuyo momento angular del electrón es un número entero de veces la constante de Plank. El modelo explica las órbitas estables al sostener que el electrón es una onda cuya longitud determinada por el momento angular, obteniendo una órbita definida con un valor o nivel energético específico. Finalmente, el modelo da cuenta de los espectros de emisión de energía de los resultados experimentales de Balmer¹¹ y permite la derivación de la constante de

¹⁰ A continuación caracterizo la constante de Rydberg dado que, de acuerdo con McMullin, una de las principales virtudes del modelo atómico de Bohr por la cual el modelo se consideró como fértil fue la de permitir la derivación de dicha constante y dar cuenta de ella. En “Fundamental Constants and Tests of Theory in Rydberg States of Hydrogenlike Ions”, Jentschura (et. al.) describe a la constante de Rydberg como aquella “obtenida principalmente mediante la comparación de la teoría y experimento para 23 frecuencias de transición o pares de frecuencias en hidrógeno y deuterio. El valor teórico para cada transición es el producto de la constante de Rydberg y un factor calculado sobre la base de QED [electrodinámica cuántica] que depende *también de otras constantes*. Mientras que la medida más exacta de frecuencia de transición en hidrógeno (1S-2S) tiene una incertidumbre relativa de 01:04 1014, el valor recomendado de la constante de Rydberg tiene una incertidumbre mayor relativa de 06:06 1012 que es esencialmente la *incertidumbre en el factor teórico*” (Jentschura et. al.; 2008: 1, énfasis del autor)

¹¹ Las líneas de espectro de las series de Balmer están “en la parte visible del espectro de hidrógeno. La línea espectral roja (la cual es realmente roja en una longitud de onda de alrededor de 656 nm) es típicamente etiquetada como H_α” y la cual se explica –desde el modelo de Bohr– como “el resultado de la radiación emitida

Rydberg al explicar que el átomo absorbe o emite energía cuando el electrón pasa de una órbita superior a una inferior – para el caso de emisión- o viceversa –absorción-.

Para McMullin el desarrollo del modelo atómico del hidrógeno es un caso exitoso del uso de idealizaciones formales, no sólo por las múltiples consecuencias explicativas derivadas del modelo original, sino también por el exitoso proceso de des-idealización que le siguió. Al considerar los resultados experimentales producidos a partir del modelo del hidrógeno, se conoció que el átomo de hidrógeno cuenta con una sola órbita y que el protón contenido en el núcleo del átomo que es 1836 veces más masivo que el electrón. Además, el supuesto acerca de la forma circular de la órbita del electrón fue avalado al mostrar que los niveles de energía asociados con el campo eléctrico del hidrógeno aceptan solo ciertos efectos de polarización que corresponden con la órbita circular, excluyendo las formas elípticas. El proceso de de-idealización abrió y guio la posterior ruta de investigación del modelo atómico en el que se intentan integrar los efectos relativistas del movimiento del electrón, un proyecto realizado por Arnold Sommerfeld (1913).

b) Idealización material

La idealización material es el segundo aspecto de la idealización constructiva considerado por McMullin. La diferencia radica en que para la idealización material los factores simplificados u omitidos no son los elementos del *fenómeno* para su representación, sino que el *modelo* mismo deja algunos aspectos sin especificar bajo los mismos propósitos (Cf. McMullin; 1985: 262-263). Los elementos que componen el modelo son los materiales suficientes para explicar el fenómeno en cuestión, la especificación o análisis de otros constituyentes no son necesarios para cumplir con este objetivo.

Para McMullin todo modelo es forzosamente incompleto, especifica los elementos, propiedades y relaciones de acuerdo a los propósitos explicativos que guían su construcción. Estos materiales son *dados* por la teoría de la cual que el modelo se deslinda, y son los utilizados por el científico para poner en marcha el proceso de explicación. El aspecto dado de los modelos teóricos muestra que el modelo original provee un tipo de delimitación conceptual dentro del cual posteriores desarrollos teóricos pueden ser formulados.

en el salto del estado estacionario $n=3$ a $n=2$ ". En el caso de la "línea verde (etiquetada como H_{β} con una longitud de onda de alrededor de 486 nm) es un resultado de un salto del electrón en el átomo de hidrógeno de un estado estacionario $n=4$ a $n=2$ " (Bokulich; 2010).

El proceso de des-idealización en la idealización material se caracteriza por sugerir nuevas líneas de investigación a partir de los límites del modelo. Esto es, al contrario de la idealización formal en el que se añaden los elementos previamente omitidos o simplificados, en la idealización material se ‘llenan los vacíos’ explicativos de los carece el modelo original. O, en caso de que se integren supuestos como materiales del modelo, el desarrollo e investigación de estos son fuentes de sugerencia para la posterior extensión del modelo.

De acuerdo con McMullin, el que el proceso de des-idealización material sea ‘heurísticamente sensible’ descansa sobre el supuesto de que la idealización material captura - aunque sea solo de manera aproximada- la estructura real del objeto (McMullin; 1985: ibíd.). Esta aproximación no debería entenderse como un valor negativo del modelo (como una falta de correspondencia con el fenómeno), sino más bien como un motor que pone en movimiento el continuo proceso de auto-corrección y extensión del constructo. La auto-corrección sugerida por los límites del modelo asegura su fertilidad y es, según McMullin, un testimonio a favor de su verdad. El caso contrario ocurriría cuando las correcciones hechas al modelo son realizadas *ad hoc*, lo cual sugeriría que el modelo es defectuoso y que las leyes derivadas son falsas, aún si tienen un buen encaje con las leyes empíricas.

Ejemplo de idealización material: Ley de los gases ideales

La teoría cinética de los gases considera a las moléculas como sus componentes más elementales. Este supuesto es suficiente para dar cuenta del comportamiento y propiedades macroscópicas de los gases bajo las leyes de la teoría. Por el momento, no es necesario preguntarse por la estructura interna de las moléculas pues no es relevante para el tipo de explicación que se está buscando y basta el empleo de la idealización material para lograr dicho fin. Para este aspecto de la idealización constructiva, el proceso de des-idealización resulta en la extensión del modelo por programas de investigación que se dediquen a y desarrollen aquellos aspectos que deliberadamente se dejaron sin especificar. Agregar detalle a la estructura descrita en la ley de los gases ideales significa integrar el volumen de las moléculas y las fuerzas de atracción y repulsión entre ellas, lo cual es considerado por la ley de los gases reales de Van der Waals¹². Una reconstrucción del perfeccionamiento de la ley de los gases ideales a la ley de los gases reales es proporcionada Papp:

¹² La ley de van der Waals o de los gases reales describe el comportamiento de los gases considerando el volumen y las fuerzas de atracción entre partículas a altas presiones. La ley además predice y explica el cambio del estado de la materia de gaseoso a líquido, fenómeno del cual no es posible dar cuenta empleando la ley de gases ideales.

El comportamiento de los gases reales, sus desviaciones de las leyes de Boyle-Mariotte y de Gay-Lussac, dejan de ser enigmas, dado que la teoría prevé sus irregularidades, considerando que cuando el volumen total del gas ya no es despreciable, las fuerzas intermoleculares – a consecuencia de la fuerte compresión del gas- se hacen valer. [...] Con el propósito de dar cuenta de los nuevos conocimientos, el investigador holandés Juan D. van der Waals apoyándose en la teoría cinética y en las mediciones de Cailletet, presenta en 1873 una nueva ecuación de estado $(p+a/v^2)(v-b)=RT$, que pone en evidencia las fuerzas intermoleculares por el cociente a/v^2 y el volumen propio de la molécula por la constante b , que representa el valor límite hacia el cual tiende el volumen cuando la presión crece indefinidamente. Paralelamente a esta mejor introspección en la naturaleza de los gases, un viejo problema de orden práctico encontró también solución: la licuefacción de los gases. (Papp; 1945:190)

De esta manera se entiende cómo los límites del modelo -expresado en la ley de los gases ideales- indican la dirección de la posterior línea de investigación como la especificación de componentes simplificados u omitidos, o como la integración de nuevos datos experimentales. Es en este proceso de autocorrección -la precisión de los elementos en el proceso de desidealización- que radica la fuerza y confianza en el modelo de ser, por lo menos, aproximadamente verdadero.

2.2 Idealización causal

La otra forma en que la idealización galileana se especifica por su particular modo de operar es la idealización causal. En este caso, la simplificación se realiza en la situación problemática misma y no en su representación. La idealización causal contiene dos distintos aspectos que dan lugar diferentes formas de entender su forma de proceder. Por lado, cuando la idealización causal es física la manipulación de la situación problemática es directa, lo cual da lugar a construcción de experimentos físicos. Cuando la idealización causal es subjuntiva, la manipulación de la situación problemática a atender es meramente conceptual, lo cual también da lugar a la construcción de experimentos, pero en este caso, se trata de experimentos mentales o hipotéticos. Ésta específica nomenclatura no es introducida por McMullin, sin embargo me parece es necesaria introducirla con la intención de enfatizar la distinción entre los dos aspectos que contiene la idealización causal.

c) Idealización causal física

. McMullin identifica a la idealización causal como la técnica que esencialmente caracteriza el modo de investigación inaugurado por Galileo (McMullin; 1985:264). Para el

científico renacentista los impedimentos más problemáticos con los cuales lidiar son los causales, en tanto complican o impiden aislar la situación de interés; desde este punto de vista: “El mundo sin orden de la Naturaleza es una maraña de líneas causales; no hay esperanza de una ‘ciencia firme’ a menos que uno pueda de alguna manera simplificar la maraña mediante eliminación, o de otra manera neutralizando, las líneas causales las cuales impiden, o complican, la acción de los factores que uno está tratando de separar” (McMullin;1985:264)¹³.

El producto es un fenómeno simplificado en causas que le es manejable al científico para poder producir una explicación o para poder manipularlo. Esta última propiedad posibilita al investigador diseñar experimentos físicos que le permitan determinar cómo sería el fenómeno en sí mismo, seleccionando los factores que permanecerán constantes, cuales serán variables y calculando el efecto de otros impedimentos:

El movimiento desde la complejidad de la Naturaleza al orden artificial especial del experimento es una forma de idealización [...] El efecto del impedimento es calculado por un experimento diseñado especialmente y luego permitido a fin de determinar cómo luciría el ‘caso puro’. (McMullin; 1985:265)

El resultado del uso de la idealización causal física es la producción de explicaciones a partir de las líneas causales relevantes y desde el cual se traza el comportamiento del sistema expresado en una ley. La cuestión es: si la idealización emplean supuestos falsos, entonces ‘¿son las leyes generadas a partir de esta forma artificial, verdaderas acerca de la naturaleza?’ (McMullin; 1985:265) Cuando Galileo analiza el movimiento de los cuerpos, afirma que éstos caen en un movimiento uniformemente acelerado independientemente de su peso y explica las propiedades de este movimiento con el uso de diagramas. Sin embargo, sus contrincantes objetan que el uso de diagramas no dice nada acerca del mundo, i.e., no expresa si este movimiento es de hecho producido por la naturaleza; por ello, se demanda la confirmación de los principios a través de la experimentación “solicita una ‘experiencia’ para apoyar la afirmación de que el movimiento de caída de los cuerpos reales se rige por esta ley”

¹³ Una manera intuitiva para comprender este análisis es la que presentan Young y Freedman: ‘Supongamos que queremos analizar el movimiento de una pelota de béisbol lanzada por el aire. ¿Cómo es de complicado este problema? La pelota no es ni perfectamente esférica ni perfectamente rígida; se le han levantado las costuras y gira mientras se mueve por el aire. El viento y la resistencia del aire influyen en el movimiento, la tierra rota por debajo, el peso de la pelota varía un poco cuando su distancia de la tierra cambia, etc. Si intentamos incluir todas estas cosas, el análisis llega a complicarse desesperadamente. En vez de esto, inventamos una versión simplificada del problema. Rechazamos el tamaño y la forma de la pelota representándola como un punto o una partícula. Rechazamos la resistencia del aire haciendo que la pelota se mueva en el vacío, nos olvidamos de la rotación de la tierra y hacemos del peso una constante. Ahora tenemos un problema que es suficientemente simple para tratar con él.’ (2000, 3). Tomo la cita de Frigg en “Los modelos y la ficción” (2011)

(McMullin; 1985: 266). Galileo sabía que para dar cuenta de su tesis acerca del movimiento de los cuerpos era necesario concentrarse en ciertas líneas causales y que otras - aunque presentes-, debían ser dejadas de lado –la fricción y la resistencia del aire- (McMullin: ídem). La prueba que justifica la conclusión de su *explanans* es producido por la elaboración del experimento del plano inclinado, analizado en la siguiente sección.

Ejemplo de idealización causal física: Plano inclinado

El fenómeno a explicar es el movimiento de los cuerpos, específicamente se trata acerca de la caída ‘natural’ de los cuerpos sólidos. Para el estado de conocimiento anterior a Galileo, dominado por la tradición aristotélica, la explicación era dada al considerar que la caída de los cuerpos sólidos depende de su tendencia natural y su peso, a mayor peso más rápido su descenso a su lugar natural. Pero Galileo creía que otra era la respuesta, la cual demostró experimentalmente al observar el movimiento de los cuerpos a través de un plano inclinado.

Galileo observó que la aceleración de una esfera de bronce, dura y pulida rodando sobre el plano inclinado es constante y se incrementa uniformemente con el tiempo i.e. la distancia recorrida es directamente proporcional al cuadrado del tiempo que toma recorrerlo. De acuerdo al grado de pendiente del plano la aceleración es mayor o menor, la aceleración máxima es producida cuando el plano se encuentra en una posición vertical –caída libre-. Galileo desempeño el experimento con distintos pesos mostrando, por una parte, que la caída de los cuerpos en caída libre no es proporcional a su peso, añadiendo que la caída libre de dos objetos en el vacío caen con igual velocidad sin importar su masa, por el experimento del plano inclinado además demostró que dado a que la distancia recorrida en caída libre por un cuerpo es inversamente proporcional al cuadrado del tiempo, entonces los cuerpos experimentan una aceleración creciente uniforme. Las tesis anteriores quedan expresadas en el corolario II del teorema 2 <<Si a partir del comienzo del movimiento se toman dos distancias cualesquiera, recorridas en intervalos cualesquiera, los tiempos de las mismas serán entre sí, como cualquiera de ellas a la distancia media proporcional entre las mismas>> queda demostrado experimentalmente.

La conclusión de la caída libre es expresada por dos leyes:

1. Todos los cuerpos caen en el vacío con la misma aceleración.
2. El movimiento de los cuerpos en caída libre es un movimiento uniformemente acelerado.

El ejemplo de la caída libre muestra el empleo de la idealización causal en tres sentidos: 1) omite la influencia de dos factores que son relevantes en el fenómeno, a saber, la fricción y la resistencia del aire. 2) La omisión de factores resulta en una simplificación del fenómeno a fin de concentrarse en los elementos relevantes para su explicación. 3) La idealización distorsiona al fenómeno, presentándolo en condiciones que no le son ‘naturales’¹⁴.

d) Idealización subjuntiva

McMullin caracteriza a la idealización subjuntiva -otro aspecto de la idealización causal- como una especial forma del condicional ‘qué pasaría si...’ (McMullin; 1985:268). Este condicional también define a la idealización causal en donde su función es la de descubrir qué otros factores causales puede afectar la situación problemática y cómo se relacionan con el fenómeno bajo estudio. En el caso de la idealización subjuntiva, el condicional opera de dos distintas maneras: primero, los casos en que, dados los constreñimientos mismos de la teoría no es necesario recurrir a la elaboración de un experimento. Segundo, los casos en que los experimentos tienen que permanecer únicamente como mentales dado que se hace uso de recursos que no son -en ninguna medida- realizables en la naturaleza (McMullin; 1985:269).

El uso central de la idealización subjuntiva es el de aislar conceptualmente los efectos de una sola causa en situaciones en que *múltiples causas están operando* (Cfr. McMullin; 1985:270). En esta forma de la técnica, el proceso de aislamiento no es posible a través de la experimentación por ello su carácter es únicamente conceptual. El empleo de la idealización subjuntiva es ejemplificado en el análisis del movimiento de los proyectiles, desarrollado a continuación.

Ejemplo de idealización subjuntiva: Trayectoria de los proyectiles

La manera en que el científico renacentista hizo uso de la idealización subjuntiva fue en el análisis de la trayectoria de un proyectil. Galileo ‘separó’ dos tipos de movimientos: el

¹⁴ Para Galileo el punto radicaba en conocer lo que el cuerpo haría por su propia naturaleza sin la afectación de otras causas. Por lo anterior, se postula un vacío en el que la resistencia del aire fuera nula, lo cual establece un salto contrafáctico en su tesis. Aunque ninguna práctica fue realizada en el vacío como tal (la bomba de vacío fue elaborada en 1650) se observa y compara qué sucede en medios con menor o mayor resistencia del aire. Esto muestra que aún en los casos en que la resistencia presenta alguna diferencia en el tiempo de desplazamiento de los cuerpos, la desigualdad es mínima y puede ser despreciada.

movimiento rectilíneo uniforme horizontal -como el desplazamiento de un objeto si estuviera en un plano horizontal infinito sin fricción- y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado hacia abajo –como el del plano inclinado-. La composición de ambos movimientos da como resultado un movimiento parabólico como el descrito en la trayectoria de un proyectil.

Ningún tipo de experimento fue llevado a cabo, el mérito radica en el uso de esta técnica para el análisis del fenómeno y considerarlo como la constitución de dos movimientos, en palabras de McMullin: “Es la técnica de centrarse en los efectos de causas individuales en los casos en que múltiples causas están operando lo que nos interesa. Observar el movimiento de un proyectil como un producto de dos movimientos, cada uno de ellos definido en una manera subjuntiva, fue lo que hizo posible el análisis.” (Ídem.: 270).

3. Cuestionamientos a la idealización Galileana

En conclusión, para McMullin la idealización galileana es la técnica por la cual la complejidad del fenómeno es llevada a un orden más simple a través de procesos de simplificación, omisión y distorsión. La técnica opera bajo el propósito de facilitar el cómputo de los elementos o hacerlos más tratables tanto para su manipulación como para su representación, éste último capturado en un modelo teórico. Una vez entendido cómo opera el fenómeno, se agrega el detalle omitido en el proceso de simplificación, es decir, se elimina sistemáticamente las idealizaciones introducidas en el proceso conocido como des-idealización; el proceso no sólo involucra un tipo de movimiento de lo general a lo concreto, también integra un movimiento en que las consecuencias explicativas del modelo son continuamente perfeccionadas para ser más completas, específicas y exactas. El resultado del uso de idealizaciones es la producción y el establecimiento de explicaciones a través de leyes teóricas.

Sin embargo, las tesis de McMullin son debatidas por distintos autores al cuestionar, por una parte, cuál es el rol de la idealización en la práctica científica. Se pone en duda que el fin de la idealización sea: primero, el desarrollo de un único modelo con vista a proporcionar consecuencias cada vez más completas y precisas; y segundo, que una vez logrados estos propósitos, el modelo idealizado sea remplazado por un modelo cada vez más aproximado a la

verdad. En lo que sigue desarrollo cinco principales cuestionamientos orientados a estas dos direcciones¹⁵.

1) Existen modelos científicos en los que el grado de alejamiento o acercamiento a la realidad no puede ser medido pues no se tienen referencias claras sobre las cuales el modelo 'deba' o no aproximarse. i. e., el 'desvío' introducido por la idealización tiene como supuesto que se conoce de manera explícita cuán alejado o aproximado es éste del mundo¹⁶. Considerar que existe un grado de aproximación presupone una métrica que permita establecer la cercanía o lejanía del modelo con respecto a la realidad. Morrison (2005) considera el caso del mecanismo de Higgs propuesto en la teoría electrodébil¹⁷ como un ejemplo en el que los supuestos del modelo no pueden ser considerados como aproximaciones dado que no hay un estándar de comparación con el sistema real y aun así la teoría goza de ser considerada como altamente confirmada. Esta teoría pone en problemas al planteamiento de McMullin quien considera que la brecha entre modelo y realidad puede ser cerrada por los continuos refinamientos hechos al modelo. Para Morrison algunos conceptos físicos -como los de la energía electrodébil-, no puede considerarse como casos en los que la brecha entre modelo y realidad dependa de la falta de información acerca del fenómeno considerado.

2) McMullin asume que el proceso de des-idealización involucra un aspecto acumulativo que converge en la producción de un modelo cada vez más preciso y verdadero, como en el caso de

¹⁵ Es importante hacer ver que las objeciones analizadas en esta sección se concentran principalmente en contra de la idealización constructiva dejando de lado la idealización causal. A mi parecer, el hecho de que los distintos autores se concentren en el tipo de idealización que McMullin llama como constructiva, o aquel que se vincule estrictamente con la construcción de modelos, y deje de lado el papel de la idealización en la elaboración de experimentos como concierne en cierta medida a la idealización causal, constituye un vacío explicativo en sus propuestas, dado que el establecimiento de experimentos forma parte de una actividad crucial en la práctica científica, por lo cual sería importante dar cuenta de la manera en que ésta actividad involucra o hace uso de idealizaciones científicas.

¹⁶ Para Radder (2006) la noción de aproximación es necesaria para caracterizar los procesos realizados por la idealización. Según este autor, la idealización "será aceptable siempre que las propiedades pertinentes de las entidades idealizadas se aproximen a las propiedades correspondientes de las entidades materiales concretas en un grado suficiente." (2011; 190) Radder al igual que McMullin, considera que la idealización científica consiste en la introducción de un formalismo en la representación del objeto, el reemplazo de las entidades materiales por las ideales a través de dicho formalismo resulta en un alejamiento o aproximación a lo real. A mi parecer, la confusión o divergencia radica en la particular caracterización que se haga de esta práctica. Para Radder el núcleo de la actividad está en la noción de aproximación; en McMullin la idealización no solo abarca una cuestión de aproximación, sino también de abstracción y simplificación. En oposición, Hans Rott (1990) sostiene que la noción de idealización es diferente y no tiene por qué estar vinculada a la noción de aproximación, la cual requiere de supuestos auxiliares sobre los cuales determinar el grado de precisión deseado y el grado de alejamiento o acercamiento a la verdad.

¹⁷ Un análisis más profundo de éste este ejemplo se trata en el capítulo tercero de este trabajo.

la ley de los gases ideales y la ley de van der Waals. Para Morrison (2005), este tipo de reconstrucción filosófica simplifica en gran medida la manera en que se lleva a cabo el proceso de construcción de modelos en ciencia. Según la autora, la formulación de la ley de van der Waals no es una instancia de desarrollo acumulativo a partir de estructura de la ley de los gases ideales. Más bien se tiene el caso en que ambos modelos resultan inconsistentes entre sí, cada uno de ellos realiza y considera diferentes supuestos acerca del sistema molecular de los gases y de las propiedades de sus elementos. **Desde esta perspectiva, lo que resulta, no es un refinamiento del modelo básico como supone McMullin, sino modelos diferentes que son adecuados para distintos propósitos.** De acuerdo con Morrison, el desvío introducido debe ser dirigido dentro del contexto de cada modelo. El resultado no es la convergencia a un modelo que de manera acumulativa dé cuenta del sistema real, sino la producción de diferentes modelos, cada uno especializado en diferentes aspectos a describir y explicar.

3) En cuanto a la tesis de que el modelo *necesariamente* debe ser des-idealizado: no siempre es el caso que a toda idealización introducida en el modelo le siga un proceso de des-idealización. La idea que está detrás de esta tesis es que el modelo idealizado puede sostenerse sin un desarrollo posterior si las consecuencias explicativas del constructo son esenciales para comprender el fenómeno (Batterman¹⁸; 2009; Weisberg: 2007). Si la función explicativa de los modelos es valiosa para entender el comportamiento de ciertas propiedades del fenómeno, entonces la permanencia del modelo idealizado es deseable.

4) Acerca de los alcances de la propuesta de McMullin: Weisberg (2007) considera a la idealización galileana enmarcada dentro una justificación meramente pragmática. De ser así,

¹⁸ Según Batterman (2009), existe una versión en el análisis de la práctica científica que considera como objetivo central de las teorías el ofrecer una descripción exacta y detallada del fenómeno a través del uso de modelos; suponiendo que en algún punto del desarrollo y precisión de los detalles, la teoría y la realidad convergerán. A esta postura Batterman la caracteriza como la 'versión tradicional'. En oposición a ella, la 'versión no-tradicional' considera que una virtud de las teorías científicas en el uso de modelos es el de la explicación. De hecho, modelos más simples explicarían más el fenómeno, en función de sus propiedades esenciales. Según Batterman, la función de los modelos en la visión tradicional se centra en la búsqueda de generalidad y establecimiento de leyes. En el caso de los modelos mínimos la intención es encontrar las propiedades inminentemente relevantes, lo cual resulta en un modelo muy simple pero que sirve para explicar al fenómeno en sus características más relevantes. El autor resalta el hecho de que algunas de las idealizaciones introducidas en los modelos no tiene que ser eliminadas como lo es para la visión tradicional, esto es, el proceso de de-idealización no tiene que seguirse en todos los casos, y depende de en qué casos sea deseable y en cuáles no.

su planteamiento excluye una justificación epistémica acerca de la idealización^{19,20}. Si la idealización científica como es caracterizada por McMullin es sólo una herramienta que permite computar los elementos para facilitar al investigador la representación haciéndoselo computacionalmente tratables y en ello se basa su éxito, el tratamiento se caracteriza desde un enfoque únicamente pragmático. Por otra parte, Weisberg apunta que la idealización galileana es altamente sensitiva al estado actual de una ciencia en particular. Es por esta razón que los avances en el poder computacional y las técnicas matemáticas permiten un continuo refinamiento de los modelos a través del proceso de des-idealización bajo la expectativa de alcanzar una representación cada vez más precisa acerca del fenómeno.

5) Un punto que McMullin deja fuera de su análisis es la manera en que varias idealizaciones pueden añadirse con el fin de construir una explicación más completa acerca de un fenómeno físico complejo. Lo que parece que McMullin tiene en mente es el desarrollo de un único modelo que dé cuenta del *explanandum*. Por esta razón, deja de lado la posibilidad de que varios modelos científicos puedan integrarse para cumplir con el mismo propósito. La manera en que trata algún tipo de relación interteórica es por el desarrollo de un modelo, pero qué hay de la posibilidad de un uso de modelos interdisciplinarios. El uso de modelos múltiples podría lograr dar cuenta de fenómenos complejos, aún si su *explanans* comprende distintos modelos e incluso si algunos de ellos son incompatibles entre sí.²¹

Conclusiones y direcciones

El planteamiento de McMullin es importante pues muestra distintos roles de la idealización en la práctica científica. Sin embargo, su propuesta exige el planteamiento y desarrollo de un único modelo para un fenómeno particular, lo cual excluye la posibilidad de que múltiples

¹⁹ Batherman comparte con Weisberg la concesión de una justificación pragmática al tipo de proceder enmarcado en la versión tradicional –como el de McMullin– al hacer uso de idealizaciones para la simplificación de elementos del modelo con el fin de facilitar su cómputo y al cual le sigue un proceso de des-idealización.

²⁰ En el cuarto capítulo presento las razones por las cuales Weisberg adjudica a idealización galileana de McMullin una justificación pragmática y no una justificación epistémica. En ese capítulo también discuto que me parece erróneo conferir a la idealización galileana únicamente este tipo de justificación y que esto tiene que ver con la estrategia y presentación de los tipos de idealización que Weisberg considera, por una parte, y por otra, con el hecho de que para Weisberg no considera a las explicaciones por leyes, como lo es para McMullin, sino por la identificación de la estructura causal relevante del fenómeno.

²¹ Weisberg considera a la ecología y la meteorología como ejemplos de disciplinas que hacen uso de distintos modelos para la explicación de fenómenos altamente complejos como la depredación y el clima, respectivamente (Weisberg; 2007: 9-10, 18-23). El desarrollo de su planteamiento es objeto del capítulo cuarto.

modelos se conglomeren para proporcionar explicaciones más globales y detalladas acerca de un fenómeno. El desarrollo de distintos modelos que atienden a distintos propósitos o contextos científicos permite que se entienda la variedad y diversidad de conceptos acerca de la idealización cuya integración genera un entendimiento comprensivo acerca de su proceder y productos.

En el siguiente capítulo presento la discusión entre Cartwright y McMullin en torno a los productos de la idealización científica, particularmente con respecto a las leyes teóricas, la explicación y la técnica de composición de las causas. El análisis de éste debate servirá para hacer ver algunos problemas concernientes a algunos supuestos y extrapolaciones que se hacen en el uso de esta técnica; y también para hacer ver otros posibles roles de la misma.

II. McMullin y Cartwright: leyes teóricas, explicación e idealización causal

Hacia el final del su texto, McMullin discute las ideas de Nancy Cartwright (1983) en torno a la idealización causal. Para McMullin, la actitud de Cartwright se basa en el supuesto de que "incluso los procesos de aislamiento simple no se comportan, en general, de la manera uniforme dictada por las leyes fundamentales" (McMullin; 1985: 271; Cartwright; 1983:58). Para Cartwright, esta forma de procesos tiende a falsificar nuestro entendimiento acerca del mundo, importándole una imagen en la cual se supone que la Naturaleza opera empleando los medios más simples. Desde esta imagen, se derivan leyes fundamentales cuyo cuantificador universal permite inferir que todo bajo su dominio se comporta de igual manera. La metafísica resultante choca con la postura de corte aristotélico que arguye por la variedad de la naturaleza, visión a la que Cartwright suscribe.

McMullin señala que las críticas elaboradas por Cartwright se dirigen en contra de las leyes del tipo fundamental o teórico, aquellas leyes que tienen un gran poder explicativo por ser muy abstractas y generales; el tipo de leyes que ella acepta es aquél que está directamente relacionado con la experimentación -leyes fenomenológicas-²². De ser así, los experimentos tienen un rol importante en el establecimiento de las leyes fenomenológicas pues son los que les dan validez y por los cuales se sustentan. Para Cartwright los experimentos son elaborados con el fin de '*aislar* las causas verdaderas y eliminar los falsos comienzos' (Cartwright; 1983:7. McMullin; 1985:271).

La pregunta es: si los experimentos, como son caracterizados por Cartwright, operan bajo el objetivo de aislar las causas verdaderas ¿no es esta la misma técnica enmarcada por un tipo de idealización descrito por McMullin i.e. de idealización causal? Si la respuesta es afirmativa, entonces resulta que Cartwright acepta y critica este tipo específico de idealización, lo que hace que su actitud sea 'ambivalente'. La crítica en tanto la técnica sustenta leyes fundamentales, es decir, que desde la idealización se justifica el paso a leyes que abogan por universalidad y verdad. Por otra parte, la acepta en tanto los experimentos son elaborados por

²² Los argumentos en contra de las leyes fundamentales realizados por Cartwright son desarrollados de manera amplia en la siguiente sección

un tipo de idealización en el que se separan las causas de interés de la afectación de otras posibles causas, para su *manipulación*.

En McMullin el punto de oposición con el planteamiento de Cartwright tiene que ver con el hecho de que, si se acepta a la idealización causal como una técnica que permite la elaboración de experimentos, cuestionar por qué se le niega el rol de producir leyes simples que den cuenta de la situación problemática aun concediendo que su alcance sea sólo .aproximado. Para él, la idealización causal podría permitir la formulación de leyes que no sólo tuvieran un rol descriptivo -como el que Cartwright otorga a las leyes fenomenológicas- sino también un rol explicativo. No obstante este último rol Cartwright lo delega a las leyes teóricas las cuales considera falsas; para ella no hay leyes descriptivas-explicativas, es una u otra pero no ambas a la vez, en su propuesta estas propiedades son excluyentes.

Cartwright también rechaza que las leyes simples puedan ser extendidas a situaciones complejas sin que a éstas se les realice modificaciones *ad hoc*, algo tampoco aceptable para McMullin, quien considera como modificaciones admisibles a aquellas que sean sugeridas por el modelo mismo; de lo contrario, las leyes derivadas serían falsas aún si tienen una alta correspondencia con las leyes empíricas o un gran alcance predictivo (McMullin; 1985:261). Algunas leyes científicas pueden tener este problema y sin embargo es un aspecto compartido por todas las leyes, en palabras de McMullin:

Cuando los procesos son de un tipo *ad hoc*, la implicación es que el modelo no es bueno; las leyes sin corregir derivadas de él podrían entonces ser descritas como ‘falsas’ o defectuosas, incluso si ofrecen un ajuste aproximado con las leyes empíricas. [...] Este es el tipo de defecto sobre el cual Cartwright basa principalmente su caso en *How the Laws of Physics Lie*. Que haya tales leyes en física, particularmente en mecánica cuántica, bien puede ser cierto. Pero este tipo de defecto caracteriza a todas las leyes teóricas de la física y es incluso típico de las leyes fundamentales de la mecánica, la parte de la física sobre el que ella tiende a enfocarse. (McMullin; 1985: 264)

Otra de las tesis que McMullin encuentra sospechosas en el argumento de Cartwright es que, si se considera que la garantía de las leyes derivadas de la idealización causal debe basarse en su habilidad para aplicarse a situaciones causalmente complejas, por qué rechazar la manera en

que la combinación de distintas leyes puede dar cuenta de tal situación a través de la técnica de composición de las causas²³²⁴.

El argumento de McMullin se puede sintetizar en el siguiente condicional: “Si la composición de las causas es sospechosa, entonces la idealización causal sería automáticamente sospechosa como una guía para las situaciones causalmente complejas” (McMullin; 1985: 273). Para él, Cartwright no tiene éxito en mostrar la verdad de la primera parte de la implicación, además sostiene que una de las principales razones para vindicar el valor de la idealización causal tiene que ver con que ésta ha sido fundamental para el desarrollo y éxito manifiesto de las ciencias naturales (McMullin; *ibidem*).

Sin embargo, debe ponerse especial cuidado con respecto a qué es específicamente lo que objeta Cartwright, qué es lo que acepta y cuáles son sus razones. A continuación me centraré en el análisis de sus objeciones, enfocándome en el tratamiento que realiza de las leyes teóricas y fenomenológicas, así como en su análisis de la técnica de composición de las causas, subrayando las extrapolaciones y supuestos que ve subyacen al empleo de idealizaciones en la práctica científica. Finalmente, muestro algunas ideas de Cartwright en torno a la idealización y su modelo piloto de la explicación.

²³ La técnica de ‘composición de las causas’ fue definida por el filósofo John Stuart Mill. De acuerdo con Mill, si se sabe lo que ocurre cuando una causa actúa separadamente de otra, entonces se puede saber qué ocurrirá cuando ambas actúan conjuntamente. El principio de la composición de las causas se puede entender como la suma de los efectos de las causas separadas. Para poder llevar a cabo dicha adición es necesario tener en cuenta que, por una parte, las causas que componen el efecto resultante de la suma son homogéneas (Mill; 1859:§3); y por otra, que la ley que exprese el efecto de cada causa en aislamiento también permita expresar correctamente el efecto que se sigue cuando dos o más causas actúan juntas (Mill; 1859:§1). Mill toma al principio de composición de causas como una analogía del principio de la composición de fuerzas de la mecánica, según el cual, el efecto de dos o más fuerzas es igual a la suma de una sola fuerza resultante “Esta ley de la naturaleza es llamada, en la filosofía mecánica, el principio de composición de fuerzas: y en imitación de esta bien elegida expresión, yo daré el nombre de composición de causas al principio que se ejemplifica en todos los casos en los que el efecto conjunto de varias causas es idéntica a la suma de sus efecto por separado” (Mill; 1859:§1). Mill también considera el caso en el que la suma de elementos de un compuesto no siguen el principio de composición de causas. Por ejemplo, las propiedades del agua no son las mismas que la suma de las propiedades del hidrógeno y oxígeno “Ningún rastro de las propiedades del hidrógeno o del oxígeno es observable en su compuesto, el agua” (Mill; 1859:§1).

²⁴ Otra forma de presentar la discusión es la siguiente: Cartwright afirma que las leyes teóricas son falsas, sin embargo este tipo de leyes podrían contener el carácter experimental que ella exige e incluir uno explicativo. Por ejemplo, la ley de gravitación universal de Newton podría formularse en términos fenomenológicos si se especifica ‘cómo los cuerpos se mueven cuando son puestos en un contexto’ (Cf. McMullin; 1985:272), y por otra parte, estos movimientos podrían explicarse en términos de ‘fuerzas’. Cartwright rechazaría que esta segunda forma de ley estuviera garantizada *directamente* por la teoría de la cual forma parte. Lo rechaza, porque el aceptar este tipo de justificación se requiere que también se acepte la técnica de composición de las causas. De ser así, el éxito explicativo del método de Mill produciría la garantía de las leyes simples y de su corrección. No obstante, este tipo de garantía es la que Cartwright niega a las leyes fundamentales.

1. Cartwright: Leyes teóricas y leyes fenomenológicas

Cartwright realiza una distinción cardinal entre leyes teóricas y leyes fenomenológicas. Las primeras tienen como función principal proporcionar explicaciones acerca de la naturaleza y son obtenidas a través de inferencias indirectas. Las segundas son obtenidas por medio de observación directa y su rol radica primordialmente en describir los hechos observables. Para la autora, las leyes teóricas se identifican con leyes fundamentales, leyes altamente conceptuales y abstractas. Estas propiedades permiten que la ley goce de un amplio alcance, considerándoseles entonces como universales. Dado su universalidad, se asume que la ley es verdadera, es verdad de todos los casos que caen bajo esa ley (Cf. Cartwright; 1983:1-3).

Un ejemplo de ley fundamental de la naturaleza es la ley de gravitación universal elaborada por Isaac Newton, según la cual, la fuerza ejercida entre dos cuerpos con masa M y m , separados por una distancia igual a d es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. La ley es expresada por la ecuación $F=GmM/r^2$ la cual contiene una constante G (constante de gravitación universal) fundamental a la naturaleza (Cartwright; 1983:57). Ya que la ley explica los hechos particulares dado su carácter fundamental, la ley es considerada como verdadera. Es decir, en tanto se considere que los hechos que ocurren en la realidad se comportan tal y como son establecidos por la ley, entonces se establece que la ley es verdadera.

Sin embargo, para Cartwright esta forma de poner las cosas es equivocada. Para ella, el costo de que las ecuaciones fundamentales expliquen es que no se logre cumplir con el requisito de adecuación empírica y, de ser así, no pueden establecerse como verdaderas. Dicho de otra manera, si se considera que las leyes fundamentales son verdaderas es porque se supone que las leyes y la realidad están directamente relacionadas; sin embargo esto no es correcto, las leyes teóricas o fundamentales son sólo verdaderas desde la teoría de la cual se postulan. El alcance de las leyes es con respecto a los elementos de la teoría, no son verdaderas acerca de la realidad. Como consecuencia, el poder explicativo de las leyes fundamentales no aboga por la verdad, sino por su falsedad (Cartwright; 1983: 3-4, 14).²⁵

²⁵ Conviene recalcar que las críticas a las leyes fundamentales que hace Cartwright no se debe interpretar como si ella estuviera caracterizando a estas leyes como literalmente falsas, el argumento es un poco más sofisticado. Lo

Las leyes fundamentales son falsas en tanto que explican a través de modificadores *ceteris paribus*: requieren de parámetros que sostengan situaciones o muy simples o muy ideales. Por ejemplo, la ley de Newton sólo puede explicar situaciones específicas en las que la fuerza actúa sobre dos cuerpos de masa distinta, pero ¿puede aplicarse del mismo modo cuando están presentes tres o cinco cuerpos? Para Cartwright, si los modificadores *ceteris paribus* son eliminados, entonces la ley fundamental es evidentemente falsa; y si se sostienen son igualmente falsas, pues qué situaciones reales son tales como las que la ley especifica.

De acuerdo con Cartwright, el reto es romper con el condicional establecido por la tradición de realismo científico, aquel que considera que: si las leyes teóricas son falsas o no son precisas, entonces las leyes fenomenológicas lo son aún más. Para ella, el condicional va en la dirección opuesta; si las leyes fenomenológicas no son correctas ello muestra que las leyes fundamentales son falsas y equivocadas pues son éstas las que se supone que explican a las primeras. De ser así, las explicaciones en ciencia no son como el modelo de explicación por las leyes teóricas muestran i.e. de teoría a realidad; el proceso de explicación es un poco más complicado. Para Cartwright, el trayecto explicativo estaría establecido de teoría a modelo y de modelo a leyes fenomenológicas (Cartwright; 1983:4). Mostrado así, las relaciones entre leyes teóricas -entidades del modelo- y leyes fenomenológicas -objetos del mundo-.

Pese a todo -reclama Cartwright-, es el enfoque de explicación deductiva el que parece imperar en la imagen de la práctica científica pues se tiende a pensar que el trabajo de la ciencia es el de producir explicaciones a través de leyes fundamentales y universales. Desde esta perspectiva, se considera que los hechos son explicados cuando son derivados desde un argumento compuesto de condiciones iniciales y leyes verdaderas y universales. A este enfoque de la explicación se le conoce como modelo de cobertura legal (Hempel&

que señala Cartwright es que, la verdad y el poder explicativo de las leyes fundamentales tiene una relación inversa (*trade off*), esto es, que en tanto una ley es más verdadera explica menos, y lo inverso, si la ley explica más entonces es menos verdadera. De ésta manera se entiende que las críticas realizadas por Cartwright a las leyes fundamentales o teóricas apuntan a aquellos argumentos que sostienen que si una ley es verdadera es porque explica más, o que si explica más hechos de la naturaleza entonces es más verdadera. La manera en la que pone éstas tesis Mauricio Suarez es bastante clara: “Para comprender correctamente la tesis de Cartwright es esencial entender el poder explicativo como subsunción teórica, en el sentido del modelo de cobertura legal inferencial clásico de Carl Hempel. En otras palabras la tesis de Cartwright es una tesis condicional: si el poder explicativo de una descripción viene dado por su dominio de subsunción teórica entonces existe un *trade off* entre poder explicativo y verdad de la teoría. Como consecuencia, las leyes que son descripciones correctas y verdaderas de los fenómenos (leyes “fenomenológicas”) carecen de mucho poder explicativo, mientras que aquellas leyes que tienen gran poder explicativo por ser muy generales (leyes “teóricas”) ni describen ni tienen el objetivo de describir correctamente los fenómenos.” (Suarez; 2009b; 384-385)

Oppenheim, 1948). Para Cartwright el modelo está equivocado por tres principales razones: 1) Las leyes de cobertura a las que apela el modelo explican muy poco. 2) Las leyes de cobertura son escasas. 3) Las leyes de cobertura son falsas.

Otra manera de leer el argumento es el siguiente: la forma en que las leyes de cobertura explican los hechos es a través de generalizaciones *ceteris paribus* usualmente leídas como ‘existe un X tal que X es explicado por Y y entonces ‘para otras casos iguales o similares a X ocurre lo mismo’ o, como lo expresa Cartwright con un poco de cinismo, ‘ocurre lo mismo mientras las condiciones sean las correctas’ (Cartwright; 1983:44). No obstante, si las leyes son expresadas sin los modificadores *ceteris paribus*, resultan ser falsas (3). Por otra parte, si las leyes *ceteris paribus* son consideradas como verdaderas, su campo de acción se reduce a aquellos casos en los cuales las condiciones son tales como las que la ley expresa, y por lo tanto aplica a pocos casos: raros y escasos (2). Por último, si las leyes *ceteris paribus* son falsas y su campo de aplicación es escaso, entonces el modelo de cobertura legal no puede generar explicaciones acerca de la naturaleza en virtud de que uno de sus requisitos es que el modelo contenga leyes verdaderas y universales (1). Por lo tanto, las leyes de cobertura son falsas y el modelo de cobertura legal no sirve para explicar los hechos de la naturaleza.

A lo que Cartwright llama la atención con la crítica acerca de las cláusulas *ceteris paribus* contenidas en las leyes teóricas, fundamentales y/o de cobertura, es que dicho modificador es introducido *deliberadamente* para sostenerse dadas algunas condiciones específicas y de ahí se *extrapolan* a la naturaleza, como si la realidad se comportara de la misma manera que las especificadas en las condiciones determinadas por dicha cláusula y, aún más importante, olvidándose que fueron los agentes quienes intencionalmente implicaron tal modificador²⁶. En la realidad, señala Cartwright, las condiciones no son tales como las que las

²⁶ Considero necesario enfatizar el hecho de que las cláusulas *ceteris paribus* no son particulares a las leyes teóricas, son también integradas a los experimentos realizados en el laboratorio. Un interesante trabajo acerca del rol de este tipo de *ficciones* en el laboratorio es realizado por Joseph Rouse en “Laboratory Fictions”. Según Rouse para mucha de la tradición en filosofía de la ciencia que se ha encargado del análisis de estas prácticas, tienden a excluir el trabajo experimental del conceptual “los empiristas lógicos confinaron la experimentación al contexto de justificación más que al contexto de descubrimiento; los postempiristas y los realistas científicos enfatizaron que la experimentación presupone antes de una articulación teórica de conceptos, mientras que la reacción al exceso de ambas tradiciones proclamó que la experimentación tiene una vida propia aparte de desarrollar o probar conceptos y teorías. Ninguna de estas tradiciones ha dicho lo suficiente acerca de la experimentación en sí como parte integral de la articulación conceptual” (Rouse: 38-39 en Suárez;2009) Si bien en ambos casos la crítica de Cartwright acerca de la extrapolación de la situación controlada de laboratorio o la

leyes teóricas determinan, son los agentes quienes establecen qué factores son relevantes explicativamente y eso es lo que queda expresado en dichas leyes. De esta manera, los modificadores *ceteris paribus* expresan compromisos explicativos y establecen qué tipo de explicaciones son permitidas (Cartwright; 1983:48).

El énfasis está en reconocer que el patrón explicativo es trasladado desde situaciones ideales a situaciones reales sin alguna consideración. Cartwright objeta contra esa tendencia automática de asumir que la naturaleza opera del mismo modo que el descrito en la situación ideal. Para ella, este supuesto va más allá de nuestro conocimiento acerca de la naturaleza (Cf. Cartwright; 1983:44-46). Si el modelo de explicación de cobertura legal se compromete a dar cuenta de la naturaleza, entonces o no sólo debe considerar aquellos casos subsumidos bajo leyes –lo que hace que el modelo sea estrecho-; o debe ser más amplio y también explicar aquellos hechos que no son dictados por ninguna ley e integrar los casos en los que se requiere de otros tipos de explicación –causales, estadísticas, estocásticas, etc.-.

Aún bajo estas consideraciones, para los teóricos del modelo de cobertura legal existe una razón de mayor peso para sostener las explicaciones por leyes fundamentales y ésta es que: las explicaciones producidas desde este modelo no sólo se basan en la reducción de los fenómenos a los elementos relevantes de la situación problemática y desde ahí sostener leyes simples, sino también en la combinación de éstas leyes para dar cuenta de situaciones causalmente complejas -a través de la técnica de composición de las causas-. El argumento es que, si las leyes simples explican procesos simples, las leyes simples en combinación explican situaciones complejas, suponiendo que ‘las leyes explicativas actúan en combinación tanto como ellas deberían actuar por separado’ (Cartwright; 1983:59).

Sin embargo, para Cartwright esta situación es insostenible, la técnica de composición de las causas falla en describir y explicar el efecto real del fenómeno –si se describe un efecto desde la combinación de distintas leyes, entonces el efecto no es el dictado por ninguna ley por separado, lo cual imposibilita el tipo de explicación por el que se está abogando-. La crítica de Cartwright está motivada por su especial interés en los casos complejos; para ella, aún si nuestro conocimiento científico es sofisticado y detallado acerca de varios fenómenos

contenida en las leyes teóricas a la naturaleza se sostienen, lo que ella también debería considerar es cómo se integra el trabajo experimental y el desarrollo conceptual que dan origen a estas prácticas y a sus resultados.

agrupados en distintos dominios de conocimiento -el cual es expresado en teorías científicas y leyes-, se carece de un modelo estable, amplio e integral que nos diga qué ocurre cuando distintos dominios se intersectan. Para Cartwright, ni las leyes fundamentales por separado ni en combinación pueden describir que ocurren en estos casos, pues “donde las teorías se intersectan, las leyes son usualmente difíciles de obtener.” (Cartwright; 1983:51)

Otra manera de justificar la verdad de las leyes explicativas se establece por dos principales razones: la primera tiene que ver con su alcance -en tanto las leyes teóricas expliquen una amplia variedad de fenómenos entonces la ley es verdadera (argumento de la coincidencia)-. La segunda viene desde un plano histórico: si no existen otras explicaciones alternativas tan satisfactorias como las expresadas por nuestras leyes actuales, entonces las leyes son verdaderas (Cf. Cartwright; 1983:75-76). Para Cartwright esto es falso. El hecho de que las leyes teóricas expliquen un amplio rango de casos particulares no establece la verdad de la ley; la apariencia de universalidad se debe a que los fenómenos son considerados desde un marco teórico general y desde ahí se explica una amplia variedad de distintos hechos. Además, falla en dar cuenta del requisito de la no redundancia, esto es, ¿de qué manera asegurar que no haya o vaya a haber alternativas explicativas que sean igualmente satisfactorias que las actuales? Para Cartwright sólo las leyes fenomenológicas y en específico, los relatos causales, son los que se salvan del argumento de la coincidencia y además cumplen con el requisito de no redundancia; puede haber alternativos tratamientos teóricos guiados por diferentes propósitos para dar cuenta de un mismo fenómeno pero solo un relato causal objetivo ‘fuera de toda conveniencia’ (Cartwright; 1983:76-77).

El ejemplo paradigmático considerado es en el marco de la mecánica cuántica -específicamente en referencia al *quantum damping*- en el que, según nuestro conocimiento actual: “tenemos una sola historia causal, y no obstante una fecunda multiplicación de aproximaciones teóricas”. (Cartwright; 1983:77) Aunque podemos considerar como explicaciones tanto a los tratamientos teóricos como a las historias causales, lo que Cartwright demanda es que se distingan y no se otorguen propiedades a una que son exclusivas de otra, en específico algo tan especial y delicado como es la verdad. Para la autora, la verdad sólo puede

predicarse de las historias causales pues sólo a éstas que podemos tener acceso a través de experimentación o *manipulación*²⁷ (Cartwright; 1983:52:87).

2. Cartwright y la idealización científica

Finalmente, termino con algunos apuntes que se desglosan del planteamiento de Cartwright acerca del papel de las idealizaciones en la práctica científica y de su modelo piloto acerca de la explicación científica. Para ella, llamar a un modelo una idealización sugiere que los modelos son simplificaciones acerca de la realidad, donde simplificación quiere expresar la omisión de factores relevantes –en tanto se conozcan sus efectos sobre la situación problemática o sean calculados de antemano-, o bien factores irrelevantes cuyo efecto no sea importante para la situación bajo estudio, “los factores omitidos no importan mucho, o en principio sabemos cómo tratar con ellos” (Cartwright; 1983:111). De tal manera que, tanto para Cartwright como para McMullin²⁸ la idealización refiere a un proceso de simplificación en el que algunos factores o propiedades son omitidos al ser considerados como irrelevantes; o

²⁷ Para Cartwright, el hecho de que podamos manipular entidades (observables o teóricas) conforma la mejor evidencia posible para garantizar las afirmaciones causales a favor de la existencia, efectos y comportamientos de tales entidades (Cartwright; 1983:98). Aunque aquí no pueda desarrollarlo quiero señalar lo que veo como una relación entre el papel de la idealización y la importancia de la manipulación empírica de los objetos: uno de los roles en el que radica gran parte de la importancia de la manipulación dentro de la práctica científica es en caso de las entidades teóricas. El poder manipular físicamente a las entidades provenientes de la teoría ha sido logrado por el desarrollo de modelos y de las *técnicas* para formularlos-, entre ellas la idealización, empleada tanto en el desarrollo teórico como en el experimental.

²⁸ Como se observa, la caracterización de la idealización es similar en McMullin y Cartwright. Esto se debe a que la caracterización del primero es bastante amplia, esto es, para McMullin la idealización comprende todos aquellos procesos que involucren simplificación, omisión y distorsión para la producción de explicaciones a través de leyes y de experimentos –físicos y mentales-. Cartwright afirma que la idealización incluye tanto omisión como simplificación (Cartwright; 1983: 136); o implica la introducción de distorsión y ficción en los modelos (Cartwright; 1983: 153). Sin embargo, en otros trabajos, la autora distingue entre omisión e idealización, la primera implicando una noción de abstracción y la segunda remitiendo o a la producción de experimentos o la producción de leyes (Cartwright; 1989: 186-187). Para Cartwright, la noción de abstracción es más elemental en tanto que “la idealización sería inútil si la abstracción no fuera previamente posible” (Cartwright; 1989: 188). Radder (2006) discute ésta última conclusión. Para él, abstracción e idealización son dos procesos distintos que no implican algún tipo de relación. Su separación tiene que ver con qué es propio de cada técnica: la abstracción involucra procesos de eliminación y separación, mientras que la idealización solo involucra la noción de aproximación. Ambos procesos también se distinguen por su relación con la noción de verdad, la idealización siempre es considerada como *no literalmente verdadera*, mientras que las abstracciones “pueden ser o verdaderas o falsas.” (Radder; 2006; 189-190). Jones (2005) también critica a la idealización galileana por ser demasiada amplia. A través de una delimitación y oposición con el concepto de abstracción, Jones caracteriza a la idealización como una representación que falsifica *-misrepresents-* el objeto de análisis; la omisión de factores, entendida de manera metafórica como una cuestión de 'completo silencio' (Jones;2005:175) concierne a la abstracción. Al igual que Radder, Jones considera que abstracción e idealización son dos conceptos mutuamente excluyentes, un modelo puede involucrar una u otra pero no ambas a la vez, esto es, un modelo que omite ciertos factores puede considerarse como abstracción pero solo si no introduce algún tipo de falsedad.

porque su efecto es conocido y puede ser calculado. Además, ambos creen que el uso de idealizaciones en la práctica científica no merma el progreso científico, esto es, su uso no representa un peligro para el desarrollo de la ciencia, sino todo lo contrario, la ayuda a desarrollarse (Cartwright; 1983:110). De igual modo, su planteamiento acerca del proceso de des-idealización es similar, para ambos este proceso consiste en el añadir los factores previamente omitidos con el fin de concretizar y hacer uso del modelo.

El punto de quiebre entre sus posturas no sólo es metafísico sino también metodológico, en tanto se debate de dónde provienen las correcciones hechos a los modelos idealizados. Para Cartwright, los defensores de las leyes fundamentales argumentarían que las correcciones vienen de arriba hacia abajo, esto es, de la teoría a los modelos idealizados, “modificar el tratamiento derivado de nuestros principios teóricos [...es] un nuevo comienzo para remplazar la ecuación” (Cartwright; 1983:111). Para ella, las correcciones son de abajo hacia arriba, es decir, añadiendo factores de corrección fenomenológicos que ayuden a producir descripciones correctas.

Sin embargo, no es obvio que McMullin se circunscriba a la postura que Cartwright critica, y por otro lado, él da varias advertencias a la manera de proceder que ella defiende. En McMullin el tratamiento acerca de las correcciones es un poco más complicado. Primero, las leyes teóricas derivadas del modelo idealizado deben corresponder –aunque sea aproximadamente- a las leyes empíricas y “es precisamente esta falta de encaje perfecto lo que pone en movimiento el proceso de autocorrección y extensión imaginativa” (McMullin; 1985:264). Además McMullin es consciente de que si las correcciones no son sugeridas por el modelo, entonces cualquier corrección hecha es *ad hoc*. Esto quiere decir que las modificaciones hechas al modelo desde la teoría para que sus leyes teóricas correspondan a las leyes empíricas no son síntoma más de que el modelo es equivocado y entonces (el modelo y en última instancia la teoría) debe ser reconsiderado. Segundo, y ésta es la advertencia, las correcciones hechas de abajo hacia arriba también deben realizarse con cierto cuidado, si el modelo es corregido de tal manera que corresponda con la evidencia empírica –existente o novedosa-, entonces la evidencia correría sin explicación pues no es involucrada en el modelo, y por lo tanto dichas correcciones serían también *ad hoc*

Estos niveles podrían, por supuesto, también ser modificados de manera empírica al simplemente corrigiendo las leyes teóricas a la luz de la evidencia empírica. Pero ésta

corrección en sí iría luego sin explicación. Que sería, de manera equivalente, constituir un defecto en el modelo original. Los científicos consideran a tales correcciones como *ad hoc*, incluso a pesar de que permitan hacer predicciones correctas. (McMullin, 1985:261)

Teniendo esto en mente, una conclusión para cualquiera de los casos en los que correcciones sean hechas *ad hoc*, es que: cuando son de arriba-abajo el trabajo teórico debe tener cuidado en sus implicaciones y seguir son su investigación; o si son abajo-arriba el modelo debe ser extendido o reconsiderado para poder producir explicaciones acerca de la evidencia. Como McMullin señala, no solo queremos trabajo descriptivo que nos diga que las cosas pasan y cómo, sino también explicaciones que den cuenta de por qué y qué son²⁹, lo cual requiere del trabajo tanto de buenos modelos como de experimentos³⁰.

Para Cartwright, uno de los principales roles de los modelos es que nos proporcionen descripciones y explicaciones acerca de la realidad y de su comportamiento. Sin embargo, el alcance descriptivo de los modelos es limitado, lo cual no es consecuencia más que de su propia naturaleza, aunque

Esto no significa que no puedan esbozar conclusiones correctas. Los ajustes que se hacen durante la corrección literal no importan mucho en el fin de obtener efectos correctos cuando los queremos, y muy frecuentemente, una distorsión es puesta justo al lado de otras. Esta es la razón de por qué frecuentemente se ve equivocado decir que un aspecto particular de un modelo es falso en la realidad: dado los otros constreñimientos es solo la manera de restaurar la representación (Cartwright; 1983: 140).

Tanto para Cartwright como para McMullin, los modelos deben cumplir con los criterios de la teoría desde la cual se construyen. Una forma de entender la naturaleza de los modelos, el papel de las idealizaciones y su relación con la teoría es preguntarnos en qué consiste o cómo se lleva a cabo la preparación de los modelos. Parafraseando a Cartwright y dicho de manera sucinta: para preparar un modelo con lo primero que se debe contar es con la recolección de información disponible que sea relevante acerca de un fenómeno en específico, tanto a nivel

²⁹ Para Ghirardi (2011) ésta es una de las preocupaciones latentes en el desarrollo actual de la mecánica cuántica; la teoría estándar nos dice mucho acerca de los resultados experimentales pero poco de qué son esas cosas a las que hacemos referencia: “en su formulación e interpretación estándar, la mecánica cuántica es una teoría que es excelente (de hecho se ha encontrado con un éxito sin precedentes en la historia de la ciencia) en decirnos todo acerca de lo que nosotros *observamos*, pero se encuentra con serias dificultades en decirnos *qué es*. Estamos haciendo aquí una referencia específica al problema central de la teoría” (Ghirardi; 2011, sección 1, énfasis del autor)

³⁰ Sin embargo, no se puede negar que para McMullin el establecimiento de leyes teóricas parece ser el resultado primordial de los modelos y del empleo de las técnicas de idealización en ciencia. Aunque tenga presente los distintos el papel de los modelos y del uso de idealizaciones, para él ambos tienen como objetivo la producción de leyes teóricas, conclusión que Cartwright evidentemente rechaza.

teórico como experimental. A esta etapa se le conoce como descripción no preparada [*unprepared description*]. Después, le sigue una fase en donde se preparara la descripción del fenómeno para dar entrada a la teoría, esta fase puede identificarse con lo que se conoce como modelos de datos, desde el cual, la teoría establece las ecuaciones, condiciones y aproximaciones que constituyen el contenido del modelo:

La entrada de la teoría procede en dos etapas. Me imagino que comenzamos por escribir todo aquello que sabemos acerca del sistema en estudio [...] Esta es la descripción no preparada [...] que va a la izquierda del operador ‘como si’ cuando el operador es usado para expresar un compromiso existencial [...] No hay distinción teoría-observación aquí. [...]. La descripción no preparada podría utilizar el lenguaje y los conceptos de la teoría, pero no está limitada por ninguna de las necesidades matemáticas de la teoría. [...] En la primera etapa de entrada de la teoría preparamos la descripción: se presenta al fenómeno de manera que se establezca en la teoría. [...] Esta primera etapa de entrada de teoría es informal. Puede haber mejores y peores intentos, y un buen manejo de conocimiento práctico ayuda, pero ningún principio de la teoría nos dice cómo hemos de preparar la descripción. Esto está en gran contraste con la segunda etapa de entrada de la teoría, donde los principios de la teoría examinan la descripción preparada y dictan ecuaciones, condiciones límite y aproximaciones (Cartwright, 1983: 133-134).

Si se acepta que los modelos son fruto de un trabajo teórico y experimental en el que se integran distorsiones, simplificaciones y ficciones, como lo muestra el análisis de su construcción, entonces debemos considerar seriamente el rol que las idealizaciones tienen en la preparación de nuestras representaciones científicas. El énfasis debe ser puesto en siempre tener en mente que muchas de las entidades expresadas en el modelo son sólo de estas i.e. ecuaciones, leyes teóricas y cláusulas *ceteris paribus*. Esto es, estar consciente de las propiedades genuinas de los objetos y de las propiedades que son creadas a conveniencia, sin pensar que, por ejemplo, la naturaleza se comporta exactamente como lo expresan las leyes teóricas o por las condiciones arregladas por la introducción de cláusulas *ceteris paribus*, “nos inclinamos a pensar que el modelos es una réplica exacta de la realidad, y se atribuye a los objetos modelados no solo las propiedades genuinas de el modelo, sino también las propiedades a conveniencia” (Cartwright; 1983: 156).

Aquí es donde parece que los planteamientos de Cartwright (1983) y Morrison (2005) se unen. Para ambas algunos componentes de los modelos no tienen un estándar de aproximación con la realidad como McMullin parece afirmar, algunas de ellas son puras ficciones. Por ejemplo, el modelo del átomo de hidrogeno (ejemplo de McMullin)

Los átomos de hidrógeno reales aparecen en un ambiente, en un tanque muy frío por ejemplo, o en una molécula de benceno [...] lo que nosotros estudiamos en su lugar es un átomo hipotéticamente asilado. [...] El átomo de hidrógeno en nuestro catálogo es solo un nombre para un sistema de dos-cuerpos donde sólo la fuerza de Coulomb es relevante. Incluso si el sistema se queda solo en el universo, no podemos eliminar el spin del electrón. Aún menos podemos eliminar el campo electromagnético, ya que da lugar a la variación de Lamb, incluso cuando no están presentes los fotones. Este sistema de dos cuerpos, lo que nosotros llamamos 'el átomo de hidrógeno', es una mera construcción mental. (Cartwright; 1983: 137-138)

Cartwright presenta un modelo piloto acerca de la explicación en el que identifica a los modelos como los sistemas que dan cuenta de los fenómenos a partir del marco de la teoría, y cuyo resultado no es la explicación por un pequeño número de leyes simples sino por la relación con variadas, múltiples y complejas leyes fenomenológicas. *Los modelos son contruidos bajo diferentes propósitos para diferentes problemas y su desarrollo atenderá a distintas preocupaciones explicativas*, por esta razón no podemos esperar que todo sea explicado por un conjunto reducido de leyes teóricas.

Las tesis anteriormente formuladas responden a las preocupaciones expuestas por Cartwright. Por un lado, el hecho de que distintos modelos sirvan a distintos propósitos (generalidad, cálculo, precisión, etc.) se debe a los modelos no sólo deben ser considerados de manera realista³¹, en el sentido de que se afirme que en tanto el modelo sea más realista explicará, mejor o de igual modo, todas las preocupaciones explicativas de la teoría. De acuerdo con Cartwright, distintos modelos son propuestos desde el la teoría para dar cuenta de sus distintos problemas y preocupaciones explicativas, predictivas o descriptivas; razón por la cual cada modelo es *elaborado* para dar cuenta de una problemática particular para la cual son relevantes distintos aspectos del fenómeno y en los cuales se introduce, muchas veces, distintos supuestos y elementos en cada entrada de la teoría –como distorsión, omisión, ficciones- que sirvan para lograr sus objetivos. Y segundo, que cada modelo sea *evaluado* con respecto a sus propios propósitos y a su relación con las leyes fenomenológicas conocidas o

³¹ Que un modelo sea considerado de forma realista tiene, para Cartwright, distintos sentidos. Uno de ellos es el esgrimido anteriormente, un modelo es realista si da cuenta de todas las preocupaciones explicativas acerca de un fenómeno. La autora ataca esta caracterización pues considera que, cuando un modelo es realista con respecto a ciertos elementos, pierde cierta precisión con respecto a otros y esto no se debe más que a la relación y respuesta de los diversos modelos a sus distintos propósitos. Además, Cartwright describe dos sentidos más en los que un modelo puede ser considerado como realista: cuando presenta una imagen exacta de la situación modelada de sus elementos y relaciones como son descritos por las leyes fenomenológicas de las cuales se tiene registro o se han obtenido anteriormente, y en el cual a causa de un mayor poder descriptivo pierde fuerza explicativa, y por otra parte, un modelo puede considerarse como realista cuando da cuenta de la representación matemática contenida por la teoría fundamental y que cuenta como un criterio de aquello que la teoría toma como explicativo, (Cf. Cartwright; 1983: 150) como lo muestra la segunda etapa de entrada de la teoría.

derivadas. De esta manera se entiende por qué mientras el modelo trata algunos elementos de forma precisa, realista o fundamental para dar cuenta de su problemática particular, “esto también puede impedir el tratamiento de otros factores de forma realista”.

Para Cartwright, los modelos pueden generar descripciones y explicaciones correctas siempre y cuando se tenga en mente que los modelos y sus leyes no gobiernan la naturaleza (por ello nombra a su modelo de explicación como un modelo simulacro, denotando el aspecto antirrealista de los modelos, en el sentido que se ha especificado en el párrafo anterior). Además, para la autora, los modelos no sólo deben decirnos cuáles y qué son los objetos de la naturaleza a partir de la teoría y sus leyes derivadas, sino también – y para Cartwright, lo más importante- buscar y establecer las historias causales correctas. Asimismo, los modelos deben decir algo acerca de las relaciones entre los objetos y sus propiedades pues “no sólo se trata de que el objeto y el modelo comparta las mismas propiedades sino ver en qué sentido también comparten las relaciones entre propiedades” (Cartwright; 1983: 156).

Cartwright no dice nada acerca de cómo es que se podrían explicar las situaciones complejas, i. e. de lo que pasa cuando varios dominios o niveles se interconectan; pero sí expresa manifiestamente que esto no podría ser llevado a cabo por la técnica de composición de las causas y por todo lo que ésta técnica supone. A continuación desarrollo los planteamientos de Morrison y Weisberg acerca de la proliferación de modelos y modelos múltiples para señalar cómo la idealización puede jugar un rol importante tanto en la generación de modelos como en su *interconexión*.

III. Morrison y la idealización científica: No acumulación y proliferación

Margaret Morrison (2005) presenta otro enfoque acerca del rol y forma de operar de las idealizaciones en la práctica científica. Su planteamiento puede definirse por dos tesis básicas: 1) la idealización no siempre cuenta con estándares sobre los cuales definir relaciones de aproximación con la realidad i.e. la distinción entre modelos heurísticos y modelos realistas es (en ciertos casos) indiscernible. 2) La producción y proliferación de múltiples modelos idealizados beneficia la construcción, el desarrollo y amplía la aplicación de teorías científicas.

La primera tesis se dirige en contra de la postura del realismo científico, específicamente a su posición con respecto al uso de idealizaciones en la práctica científica. De acuerdo con Morrison, los defensores del realismo científico sostienen que el uso de idealizaciones no socava la pretensión de obtener conocimiento preciso y verdadero. El argumento empleado para defender esta tesis se resume en los siguientes términos:

P1. Existe una brecha entre modelos y naturaleza.

P2 La brecha es producida dada la naturaleza abstracta e idealizada de los modelos.

P3 La brecha puede ser cerrada si se añaden los parámetros necesarios y el detalle que fue omitido y simplificado durante la construcción de modelos.

P4 Añadir el detalle hace del modelo una mejor representación, aumentando su precisión.

P5 El proceso de precisión ha resultado exitoso en las ciencias naturales, especialmente en la física.

∴ Por lo tanto, la naturaleza abstracta e idealizada de los modelos no representa un problema para el realismo. (Cf. Morrison; 2005; 146)

Para Morrison, lo que genera la presentación de este argumento en un marco realista es que se dé cuenta de una práctica del modelado –irónicamente- idealizada, pues simplifica la manera en que se lleva a cabo dicha actividad y no logra capturar gran parte de las propiedades características de la construcción y uso de modelos como son realizados en la práctica científica. De este modo, la exigencia de proporcionar una imagen detallada acerca de la producción de modelos y de su operación en la construcción de teorías es uno de los propósitos rectores de su planteamiento (Morrison; 2005:147). El reto es fundamentar la práctica de construcción y precisión de modelos sin implicar un marco realista, esto es, sin el supuesto de que el cierre de la brecha expresa una relación de aproximación a la realidad.

Aceptar que la concretización de los modelos puede correr fuera de la postura del realismo científico se logra, de acuerdo con Morrison, haciendo ver que la distinción entre modelos heurísticos y modelos realistas es –en algunos casos- indiscernible. Dicho de otro modo, si se considera que la función de los modelos heurísticos es la de ser utilizados como un prototipo de explicación cuyo desarrollo permite producir conocimiento acerca del mundo continuamente detallado y preciso, capturado en última instancia por modelos realistas-; qué parámetros o qué criterios fija el punto en que termina e inicia cada modelo, esto es, ¿cómo se establece el límite que separa el campo de aplicación e implicaciones de cada uno de ellos? Para Morrison no hay manera de distinguir tajantemente entre cada tipo de modelo. Ésta tesis es desarrollada a través de una serie de críticas dirigidas a una postura para la cual el uso de idealizaciones en la práctica científica tiene como objetivo el lograr modelos realistas.

Sin embargo, el uso de idealizaciones juega un rol más distintivo dentro de la construcción de teorías y de la aplicación de modelos en la práctica científica, desde la perspectiva de esta autora. El rol de las idealizaciones va más allá de proporcionar imágenes tratables caracterizadas por su acercamiento o alejamiento a la realidad. Su papel puede también considerarse en un plano heurístico cuya virtud radica en la generación y desarrollo de posibilidades físicamente realizables, lo cual excluyen la relación de aproximación a la realidad. Teniendo en cuenta el plano heurístico de las idealizaciones es que la tesis a favor de la proliferación de modelos resulta importante. Según dicha tesis, la creación de diversos y múltiples modelos permite obtener un mejor entendimiento acerca de la realidad si se tiene en cuenta que cada modelo tiene como meta diferentes objetivos explicativos, hecho por el cual cada modelo considera diferentes supuestos acerca del comportamiento de un mismo fenómeno. En consecuencia, la brecha entre modelo y realidad es determinada dentro del contexto de cada uno de los modelos y no únicamente por una relación de aproximación.

El desarrollo de este argumento será cuestión de los siguientes 3 apartados. En el primero se discute la tesis en torno a la noción de aproximación a la realidad; posteriormente, una subsección en la que se plantea la caracterización de la idealización como la descripción de estados físicos posibles. El segundo apartado versa sobre la necesidad de proliferación de modelos. En el tercero, se analizan la separación entre dos tipos de idealización que responde a las implicaciones de dos distintas maneras en que el modelo se relaciona con la realidad. Finalmente, las conclusiones del capítulo.

1. Idealización y aproximación

De acuerdo con Morrison, detrás del uso de idealizaciones en el quehacer científico, y específicamente subyacente a la práctica científica del modelado, está el supuesto generalizado de que tanto los modelos como las leyes que se derivan de éstos representan un conocimiento cada vez más verdadero acerca de la naturaleza y de su comportamiento. Como se muestra, el carácter aproximado de los modelos y de las leyes, en éste sentido, implica la noción de verdad. En tanto los modelos y leyes científicas sean más verosímiles, se dice entonces que son más verdaderas. Para la autora, la noción de aproximación no tiene por qué plantearse dentro de un marco que implique tales fundamentos. Para dar cuenta de esta tesis, Morrison plantea dos diferentes argumentos del físico francés Pierre Duhem en los que la noción de aproximación a la verdad puede excluirse del entendimiento acerca de leyes y modelos³². El primer argumento puede plantearse en los siguientes términos:

1 Las leyes son símbolos abstractos que representan casos concretos.

2 Como relaciones simbólicas entre varias y diversas propiedades o fenómenos, las leyes no pueden ser consideradas como falsas o verdaderas.

3 Las relaciones simbólicas son manipuladas de tal manera que permitan capturar más propiedades de un fenómeno particular, lo que hace que la ley sea más útil pero no más verdadera.

.:Por lo tanto, la noción de aproximación en las leyes que excluye el ideal de verdad e integra el de precisión implica que la ley pueda ser reemplazada ulteriormente por presentaciones más precisas, donde el grado de aproximación es considerado dentro de ‘ciertos límites de acuerdo a ciertos propósitos’ en cada caso particular (Cf. Morrison; 2005:148).

El argumento de la subdeterminación³³ de los hechos por la pluralidad de leyes es el segundo planteamiento duhemiano en contra de adjudicar un valor o grado de verdad a las

³² Es por su postura instrumentalista que Duhem considera a las leyes y teorías de la física como estructuras que clasifican o representan hechos de la naturaleza de acuerdo a ciertos fines y no como descripciones o explicaciones de la realidad –tareas de la metafísica- (Ariew; 2011). Por estas razones, Morrison señala que desde una perspectiva duhemiana es equivocado pensar al proceso de precisión como uno de sustitución por verdad, esto es, pensar que si una ley es sustituida es porque es falsa y su sucesora verdadera. Las leyes y teorías son sustituidas, para Duhem, porque proveen descripciones más precisas o más amplias. Por ejemplo, la ley de los gases ideales no es considerada como falsa aún si los intereses científicos del momento requieren se tome en cuenta la interacción electromagnética de las moléculas de los gases, situación en la que sería más adecuado o útil recurrir a la ley de van der Waals, “Duhem ve este uso de las leyes en contextos prácticos como evidencia de la relatividad de las leyes más que una indicación de su verdad aproximada” (Morrison; 2005:148)

³³ La tesis de la subdeterminación nace como muestra de que la evidencia empírica es insuficiente para el apoyo o refutación de una teoría o para la elección entre dos o más teorías alternativas. La primera formulación sostiene

leyes científicas considerado por Morrison. Según este argumento, del hecho de que una multiplicidad de leyes puedan representar a un mismo fenómeno se sigue que las leyes no pueden capturar *la única y verdadera* correspondencia entre el símbolo abstracto y el fenómeno concreto, en palabras de Morrison:

Los otros argumentos de Duhem en contra de la verdad o falsedad de las leyes físicas refieren al caso de la subdeterminación que facilita la aplicación de un número potencialmente infinito de representaciones simbólicas para cada hecho concreto, excluyendo así una correspondencia única entre *una* ley particular y un sistema real. (Morrison; 2005: 149)

Lo que la autora busca señalar con los argumentos de Duhem podría entenderse en términos de una advertencia y una denuncia. La primera indicando el especial cuidado que se debe poner al otorgar verdad y realidad a las representaciones simbólicas empleadas en la práctica científica. Una denuncia, en tanto se deje de lado la prevención de otorgar verdad y realidad a las leyes y modelos, y se juzgue que la suma de parámetros y detalle equivale a más verdad o realidad.

Estos puntos son dirigidos en contra del realismo científico, postura a la cual Morrison recrimina considerar los argumentos de Duhem simplemente como evidencia de las dificultades prácticas con las que el científico se enfrenta a la hora de construir modelos y de aplicarlos (Cf. Morrison; 2005:149). Desde esta perspectiva, los refinamientos constantes a las leyes y modelos logrados por la suma de parámetros son guiados por una relación de aproximación a la verdad; los cuales, parece, culminarán finalmente en representaciones más precisas y verdaderas acerca de la realidad.

que la evidencia con la que se cuenta para afirmar o refutar la teoría, por ejemplo, en un experimento crucial, afecta de manera aislada una de las tesis que compone a la teoría y no al conjunto que ésta representa (Duhem; 1914). La segunda afirmación apunta que cualquier grupo de hipótesis puede sostenerse como verdadera por el mismo cuerpo de evidencia, lo que propicia la obtención de infinitas posibilidades teóricas sin una concomitancia con la verdad. Si se puede considerar a un cuerpo de conceptos como una teoría científica es porque cumple con ciertas condiciones que lo convierten en conocimiento del mundo; siguiendo a Stegmüller (1979; 133): resultados empíricos, generalizaciones hipotéticas, estipulaciones, consideraciones de simplicidad y de fecundidad. El problema es: cómo saber que esta forma conceptual es verdadera. Se verá entonces que en las teorías científicas estos factores confluyen y se relacionan con distinto peso, saber cuáles aportan verdad es la cuestión. Además, cómo con estos criterios afirmar que las teorías son verdaderas si muchas han resultado ser falsas, ¿falta considerar más criterios o jamás podremos tener teorías verdaderas? (meta-inducción pesimista; Laudan; 1991). Otro problema que presenta la subdeterminación es cómo dos teorías con igual grado de fuerza -por la integración de estos factores- pueden ser al mismo tiempo tan divergentes e incluso contradictorias, no sólo sobre cuestiones teóricas o estéticas, sino incluso la experiencia -ese input del mundo independiente- es insuficiente para determinar la verdad de las teorías científicas (i.e. equivalencia empírica).

Morrison ve a McMullin como un representante de esta postura: primero, porque su intención es la de mostrar que un análisis adecuado de la idealización permite que se mantengan muchas de las intuiciones realistas, especialmente aquella que aboga a favor de la noción de aproximación a la verdad. Por otra parte, McMullin sostiene que las dificultades prácticas o impedimentos son inherentes a la construcción de modelos (Cf. Morrison; 2005:150). Morrison busca hacer explícito que las tesis relacionadas con la noción de aproximación a la verdad son equivocadas i.e. la noción de aproximación no es acertada para dar cuenta de la labor de la idealización en la construcción de modelos³⁴.

La cuestión es que, si para McMullin el manejo de los impedimentos significa el adecuado cálculo del efecto de éstos en la situación problemática, y ello permite al investigador basar el comportamiento real del fenómeno en la estructura del constructo idealizado; entonces, ¿cómo dar cuenta de los modelos en los que no es posible una correspondencia entre los elementos de la estructura construida y los de la estructura real –a través de una relación de isomorfismo-? Existen modelos elaborados para representar el comportamiento del fenómeno, sus propiedades o entidades y sin embargo no pueden ser medidos con respecto a un estándar de aproximación a la verdad. Morrison ejemplifica esta tesis con el mecanismo de Higgs, recurso empleado en el marco de la teoría electrodébil. Esta teoría reúne dos de las cuatro fuerzas de la naturaleza: la fuerza nuclear de corto alcance entre las partículas mediadas por el intercambio de los bosones W y Z, conocida como interacción débil, y la fuerza electromagnética – la cual mantiene unidos a los átomos y las moléculas y la cual es mediada por el intercambio de fotones- (Bromley; 2000: X-2); cada una estas fuerzas describe aspectos diferentes de una sola interacción, la electrodébil:

S. Weinberg y A. Salam S. se dieron cuenta que, dado que originalmente el bosón Z^0 no contiene masa y es neutral, ¡tiene cercanamente las mismas propiedades que el fotón! Uno entonces puede esperar que la teoría realmente tenga sentido sólo si desde el principio comenzamos con los tres bosones intermedios W^+ , W^- , Z^0 de la interacción electrodébil junto con el fotón γ y desarrollar desde ahí una teoría unificada de las interacciones ‘electrodébiles’. (Bromley; 2000:106)

La teoría electrodébil posee una gran fuerza predictiva (uno de sus mayores logros es la predicción de las masas de las partículas que describe -bosón Z^0 , W^\pm (Morrison; 2005:151. Bromley; 2000: 170)) y un consolidado apoyo experimental: “Los experimentos realizados

³⁴ Como se observa, Morrison se centra en el papel de la idealización en la construcción de modelos –idealización constructiva-, lo cual deja de lado el rol de la idealización causal.

en 1989/90 en el Gran Colisionador de Electrones y Positrones (LEP) y en el Colisionador Lineal de Stanford del CERN han confirmado las predicciones de la teoría GSW -Glashow-Salam-Weinberg- con una precisión sin precedentes” (Brompley; 2000:190). Sin embargo, señala Morrison, la teoría incluye entidades teóricas de las que se carece de evidencia física pero sin las cuales la teoría no funcionaría, como lo es el mecanismo de Higgs. Así mismo, la teoría electrodébil asume, para dar cuenta del mecanismo y de las propiedades del vacío, la existencia de partículas de Higgs.

La física actual ha verificado que las fuerzas débiles y electromagnéticas convergen en altas energías, pero la teoría solo funciona si uno introduce un supuesto altamente idealizado acerca de la naturaleza del vacío. El modelo para la teoría electrodébil asume la existencia de las partículas de Higgs que crean un campo que permea todo el espacio, y consecuentemente, influye en las propiedades del vacío. (Morrison; 2005:151).

La teoría electrodébil, para dar cuenta de la presencia, ausencia y diferencia de masa en ciertas partículas, incorporó al bosón de Higgs como una solución teórica a ésta cuestión. La manifestación del mecanismo Higgs, el cual postula un campo con el que algunas partículas interactúan intensamente, otras medianamente y otras de manera nula, es expresada por la partícula de Higgs. Ésta partícula fue recientemente detectada por los colisionadores de hadrones del CERN este 4 de Julio (2012). Sólo con la detección experimental de tal partícula es que comienza a aclararse el hecho de que la naturaleza opere de la manera en que es descrita por el mecanismo de Higgs. No obstante, el análisis de los resultados se encuentra en un estado incipiente, pues se requiere determinar de manera concluyente que ésta es la partícula que se estaba buscando, si hay más bosones de Higgs adicionales y sobre todo un examen detallado de sus propiedades para verificar que éstas sean compatibles con las postuladas por el Modelos Estándar.

Aún así, el campo –o mecanismo- de Higgs representa la introducción deliberada de entidades idealizadas que intentan dar cuenta de la ruptura espontánea de la simetría de energías débiles, el hallazgo experimental de encontrar la partícula de Higgs respalda, de alguna manera, la utilidad del mecanismo Higgs propuesto desde la teoría electrodébil, no obstante éste sigue siendo un modelo heurístico cuyas consecuencias predictivas siguen desarrollándose y avalándose por la verificación experimental. Como señala Morrison, lo que hace que el campo de Higgs sea una idealización es el hecho de que no hay un criterio con el cual decidir si el supuesto es falso, verdadero o aproximado y no la carencia de verificación

experimental “no tenemos manera de saber el grado en el cual las propiedades atribuidas al vacío por el mecanismo de Higgs se aproxima a la estructura real, y aún así la teoría electrodébil se considera como altamente confirmada” (Morrison; 2005:152).

Podría considerarse a la idealización en su puro uso heurístico, como un dispositivo que sea postulado desde el modelo y sostenido dentro de él. Considerar al campo de Higgs como un sentido heurístico podría ser una solución, pero ello dejaría fuera la aspiración realista en tanto que la relación entre modelo y realidad no puede ser explicado por algún tipo de isomorfismo “como un instrumento metodológico tiene poco que reforzar a la conexión entre los procesos de idealización y de una presuposición subyacente acerca de la relación entre modelos y realidad” (ídem).

McMullin considera que la brecha entre constructo y realidad puede ser cerrada por los continuos refinamientos consecuencia de adecuados procesos de des-idealización que van a la par con el progreso de la investigación científica. Sin embargo, su enfoque resulta problemático pues no logra capturar y explicar casos en los que la construcción de algunos modelos que no tienen una relación de isomorfismo entre los elementos del modelo y el sistema real como muestra el ejemplo del mecanismo de Higgs.

1.1 Des-idealización como descripción de estados físicos posibles

Para Morrison, la des-idealización puede llevarse a cabo aun si no es posible determinar si los modelos presentan una imagen precisa de la realidad. Lo que sugiere, es una redefinición de las bases en que esta noción opera y propone que se le considere como una técnica que proporciona representaciones de estados físicos concretos y no como una práctica que gradualmente facilitará la elaboración de descripciones precisas y verdaderas acerca de la estructura real del sistema.

No obstante, Morrison no deshecha ni desvalora el proceso de des-idealización referido por McMullin. Lo que sugiere es una redefinición de la técnica considerándola como una que produce estados físicos posibles cada vez más concretos. Las presentaciones concretas de los modelos idealizados refieren a posibilidades físicamente realizables, lo cual excluye la idea de una aproximación a la verdad.

Es difícil determinar el grado en que el modelo representa al sistema real [...] En consecuencia, el único indicador del éxito del modelo es su poder predictivo más que su isomorfismo con la realidad [...] Una representación concreta puede ser usada exitosamente como una idealización sin implicar que la estructura se aproxima a la verdadera naturaleza del sistema físico. (Morrison; 2005:157, énfasis mío)

Morrison eleva el estatus de poder predictivo de los modelos sobre el de correspondencia – o isomorfismo- porque existen teorías que carecen de un estándar de aproximación o de verificación física que permitan determinar el estatus de algunas de las propiedades o elementos del modelo. El poder predictivo de los modelos se convierte, por lo tanto, en el factor que permite establecer el grado de precisión de los modelos. De esta manera, el desvío introducido por las idealizaciones no debe ser considerado en relación a una única estructura, sino que debe ser estimado de acuerdo al contexto en el que cada modelo idealizado es formulado, parámetros que serán propuestos por el dominio al que hacen referencia y según los objetivos a lograr de cada modelo. Por estas razones, las idealizaciones deberían considerarse como la descripción de un estado físicamente posible de la naturaleza, su precisión es lograda por el proceso de des-idealización cuyo resultado es la producción de modelos que representen el fenómeno más concretamente sin que esto implique algún tipo de aproximación a una estructura.

2. Des-idealización: Desarrollo acumulativo o proliferación de modelos. El caso de la ley de gases ideales y ley van der Waals

Una de las consecuencias de la idealización galileana que Morrison busca problematizar es con respecto al posterior desarrollo de los modelos idealizados. De acuerdo con la autora, el planteamiento de McMullin sugiere que las consecuencias explicativas y predictivas son extendidas y perfeccionadas a través del desarrollo de un *único* modelo, razón por la cual el proceso de des-idealización es guiado para lograr una mejor y más precisa representación de la situación real (Morrison; 2005: 153). Para Morrison, el proceso de des-idealización no implica el desarrollo de una única estructura, sino la proliferación de distintos modelos.

Esta tesis son ejemplificadas con el tratamiento que cada uno de los autores hace de la ley de los gases ideales y la ley de van de Waals. McMullin considera a la ley de los gases ideales como una instancia de idealización. Esta ley supone que los constituyentes moleculares del gas son puntos en el espacio sin volumen y sin algún tipo de fuerza de atracción y

repulsión entre ellas. Su comportamiento se describe por la colisión de las moléculas por choques elásticos en un sistema homogéneo: “Las partículas que constituyen nuestro gas no ejercen fuerzas a distancia entre sí, en consecuencia el choque elástico se convierte en la única vía de interacción entre ellas y el único mecanismo de evolución interna [...] que rigen su comportamiento” (Zamora; 1998: 70-71). La relación entre presión, temperatura y volumen es expresada por la ecuación de estado $Pv=nRT$ (respectivamente: presión, volumen, cantidad de materia expresada en moles, constante universal de los gases ideales y temperatura) la cual es especialmente precisa para gases a alta temperatura y presión baja. La ley resultante sostiene que ante rangos normales de temperatura, cualquier aumento de presión ejercida sobre el gas significa una disminución del volumen y viceversa, si la presión disminuye, el volumen aumenta:

Boyle encontró que duplicando la presión del volumen del aire decrecía a la mitad; una presión triple no le dejaba más que un tercio de su volumen original. La experiencia podía ser invertida y confirmó a Boyle la certeza de su descubrimiento: La presión (P) es inversamente proporcional al volumen (V) ocupado por el aire – en general por un gas perfecto- en iguales condiciones de temperatura. (Papp; 1945: 64)

La ley de los gases reales considera el tamaño de las moléculas y las fuerzas intermoleculares entre ellas, supuestos simplificados y omitidos por la ley de los gases ideales³⁵. Además, la ley de van der Waals explica el comportamiento de gases más densos que los de la ley de los gases ideales y además da cuenta de la transición de fase entre gases y líquidos³⁶. El perfeccionamiento y ampliación del modelo del gas ideal por el de van der Waals es considerado por McMullin como un caso exitoso de des-idealización pues su desarrollo resulta en una caracterización más precisa, verdadera o próxima a la realidad.

Para Morrison este tipo de reconstrucción filosófica acerca de la práctica científica simplifica en gran medida el proceso de construcción de modelos en ciencia. Según la autora, la formulación de ley de van der Waals no es una instancia de desarrollo acumulativo sobre la estructura de la ley de los gases ideales. Más bien se tiene el caso en que ambos modelos resultan inconsistentes entre sí, cada uno de ellos realiza y considera diferentes supuestos

³⁵ Un desarrollo más amplio de la ley de los gases reales o de van der Waals se encuentra en la primera sección de este trabajo, específicamente en apartado B) sobre el ejemplo de la idealización material.

³⁶ El desarrollo de posteriores ecuaciones de estado tienen como objetivo extender el modelo matemático al agregar constantes (como el modelo Beattie-Bridgeman, que contiene cinco constantes, y con ocho el modelo de Benedict-Webb-Rubin), o precisando el cambio de densidad, o bien considerando la asimetría de las moléculas (como la no-esfericidad considerada por el modelo de de Soave y de Peng-Robinson).

acerca de cómo se comporta el sistema molecular de los gases. De esta manera, para Morrison, el desarrollo y extensión de los modelos idealizados involucra la producción y proliferación de múltiples modelos. Lo anterior excluye el desarrollo acumulativo de los constructos donde el proceso de des-idealización es entendido como suma de parámetros o re-incorporación de los elementos previamente omitidos o simplificados. Para la autora, la técnica de des-idealización no es útil donde el parámetro de aproximación a la verdad y de acumulación es difuso o carente:

El apoyo inductivo que normalmente podría ser adquirido a través de predicciones exitosas, a condición de que las propiedades del modelo fueran añadidas de una manera acumulativa a una estructura estable, simplemente no está presente. Debido a que cada modelo es diferente, la base inductiva no se fortalece de manera sistemática. [...] La teoría (cinética) no presenta un sistema idealizado que pueda explicar el comportamiento de los gases en contextos particulares. En su lugar varias idealizaciones diferentes se proponen dentro del marco general de la teoría cinética, cada uno de los cuales proporcionan predicciones bastante exactas para un grupo específico de fenómenos, pero falla en proveer una confirmación acerca de una única estructura molecular que sea determinable usando la teoría cinética. (Morrison; 2005: 155-158)

De acuerdo con esta postura, lo que se tiene no es un refinamiento del modelo básico como supone McMullin, sino modelos diferentes que resultan adecuados para distintos propósitos. Esto es, dada la complejidad de la naturaleza, sería imposible construir un modelo que dé cuenta de todos los aspectos concernientes a un fenómeno particular sin que pierda exactitud y coherencia. Por ello, la proliferación de modelos -entendida como el desarrollo de múltiples modelos- podría describir con mayor precisión y profundidad el comportamiento de los aspectos específicos del fenómeno bajo estudio. Cada modelo asume supuestos particulares que le permitan realizar explicaciones y predicciones deseadas. Por estas razones, el desvío de la realidad debe ser dirigido dentro del contexto de cada modelo. No puede ser considerado únicamente con respecto a la realidad, cada modelo presenta una descripción particular a los intereses epistémicos o pragmáticos acerca del mismo fenómeno. Teniendo en cuenta estas consideraciones es que se puede juzgar y justificar el uso y la introducción de idealizaciones en la construcción y desarrollo de modelos científicos.

3. Dos tipos de idealizaciones: computacional y predictiva

Una vez planteada la discusión en torno a la noción de aproximación implicada en el uso de idealizaciones y argumentando que el acercamiento o desvío introducido por esta técnica debe

ser considerado de acuerdo a los interés particulares que guían la construcción y la proliferación de modelos en la práctica científica, Morrison ubica dos distintos tipos de proceder de la idealización, su diferencia depende del desconocimiento o conocimiento limitado que se tiene de la relación entre constructo y realidad:

1) Idealización computacional: es el tipo de idealización por el cual se puede dar cuenta de los impedimentos computando el grado de separación entre el modelo y el sistema físico. El modelo idealizado es producido para calcular el grado de desvío de una propiedad particular bajo ciertos estándares. Morrison considera que el papel de la idealización en la práctica científica podría entenderse bajo la garantía de las predicciones o como una aproximación al fenómeno que facilita el cálculo de una propiedad analizada, aunque de manera limitada: “Tenemos acceso directo algunas características del sistema real, y consecuentemente, somos capaces de calcular aproximaciones en una manera relativamente sencilla. Pero es debido a que esto sólo puede hacerse en un sentido limitado, que falla en proveer de una base inductiva para juicios acerca de la exactitud de modelos más complejos.” (Morrison; 2005:158)

2) Idealización predictiva: involucra una variedad de distintos modelos idealizados acerca de un fenómeno en particular, cada modelo obedece diferentes propósitos. Distintos modelos son propuestos desde el marco de una teoría para dar cuenta de un fenómeno particular o bien “puede implicar la postulación de una estructura que sabemos es falsa, pero que usamos para alcanzar poder predictivo.” (Morrison; 2005: 158). La idealización predictiva es empleada en aquellos contextos en los que se sabe cuán amplio o cercano es el desvío introducido por las idealizaciones; por esta razón la validez de cada modelo no es por alguna relación de aproximación a la realidad sino de acuerdo a su poder predictivo.

El primer tipo de idealización permite calcular y computar los elementos que permitan dar solución a una situación problemática. Como ejemplo de idealización computacional Morrison ubica al experimento del plano inclinado apuntando que en este caso, el científico renacentista sabía de antemano el efecto de los elementos que omitía o simplificaba y del margen de error de dicho experimento. Un punto importante de este tipo de idealización es que las relaciones que impone y las propiedades que adjudica son con respecto a rasgos observables de los fenómenos, lo cual excluye supuestos acerca de la estructura macroscópica o microscópica de los elementos:

Es importante señalar, sin embargo, que cuando calculamos el grado de desviación lo hacemos para una propiedad específica que estamos midiendo, sea la fricción, la rigidez, etc. No tenemos nada parecido a un modelo completo o una información perfecta acerca del sistema real, ya que ello involucraría no sólo un dar cuenta de las propiedades macroscópicas, sino también de las propiedades micro. (Morrison; 2005: íbidem)

En el caso de la idealización predictiva lo que ocurre es que aun desconociendo cuál es la estructura real del sistema bajo estudio, los supuestos acerca de la estructura del fenómeno sirven para aumentar el poder predictivo de los modelos. Los modelos obtenidos por el uso de esta técnica son entonces interpretados como dispositivos que ayudan a desarrollar estados físicos posibles sin que éstos sean adjudicados como representaciones verdaderas o realistas del fenómeno. El carácter hipotético y el poder predictivo de este tipo de modelos es lo que los establece como una fuente de desarrollo de conocimiento científico expresado en leyes empíricas y teóricas, como Morrison lo ubica en el ejemplo de la teoría cinética.

Si bien la importancia de los modelos producidos por la idealización predictiva reside en su uso heurístico, ello no socava la pretensión de obtener conocimiento acerca del mundo. Aunque el modelo construido refiera a posibilidades físicas del comportamiento o propiedades del fenómeno ello no descarta que tales posibilidades sean concretas:

En lugar de evaluar modelos como representaciones supuestamente exactas acerca de la realidad, necesitamos fijar nuestra atención al rol heurístico que juegan todos los modelos en establecer leyes empíricas y teorías. El reconocimiento del componente heurístico en la elaboración de modelos y construcción de teorías sirve para minimizar la división entre [...] modelos ‘realistas’ y aquellos que son ‘meramente’ heurísticos pueden ser hechos exitosamente solo en casos donde nosotros conocemos el uso de representaciones ficcionales. Claro que estas representaciones ficcionales pueden ser también concretas [...] los modelos concretos representan un objeto o sistema que es físicamente realizable; puede ser posible pero de hecho no es actual [real], o alternativamente, puede ser un candidato para la realidad en forma de una hipótesis. (Morrison; 2005: 159)

El hecho de que los modelos elaborados por el uso de la idealización predictiva sean útiles para obtener estos resultados, hace que la distinción entre modelos heurísticos y modelos realistas sea difusa. Morrison pone como ejemplo de una teoría desarrollada por el empleo de esta técnica a los modelos sobre el campo electromagnetismo elaborados por J. C. Maxwell (1873). De acuerdo con la autora, el desarrollo de la teoría de campos unificados incluye el uso de modelos idealizados e incluso meramente ficticias sobre los cuales el científico escocés no sólo elaboró un formalismo matemático para dar cuenta de las relaciones entre dos campos -el magnético y el eléctrico-, además empleo distintos dispositivos que le facilitan la representación visual del fenómeno para su exploración. Aún con el carácter tentativo y

excluyendo la aspiración de representar realístamente el fenómeno, el modelo permitió desarrollar leyes empíricas que ahora forman parte del *corpus* de la teoría del campo unificado

Los modelos conceptuales del electromagnetismo [...] dieron lugar a la formulación de nuevas leyes cuantitativas que mostraron albergar una semejanza con las leyes en otros dominios. En consecuencia, un modelo cuyo alejamiento de la verdad era indeterminable así como uno que funcionaba como una representación puramente ficticia jugó un rol significativo en el desarrollo de leyes empíricas [...] Los modelos ficcionales en este caso eran concretos en el sentido de que utilizan sistemas mecánicos legítimos (a diferencia de los sistemas moleculares que postulan masas puntuales), sin embargo eran ficcionales y Maxwell no asumió que estos sistemas concretos representaran la estructura del campo en ninguna manera. (Morrison; 2005: 167)

El análisis de los modelos del electromagnetismo permite a Morrison consolidar las tesis que venía desarrollando: 1) algunos modelos no siempre pueden ser evaluados con respecto a una relación de aproximación a la realidad, en ciertos casos se carece o desconoce el parámetro sobre el cual determinar dicha relación. 2) Ante la carencia de un estándar sobre el cual definir el grado de aproximación, el criterio de precisión del modelo reside en el poder predictivo. 3) La distinción entre modelos heurísticos y modelos realistas no se sostiene si algunos modelos no pueden ser evaluados por su capacidad para proporcionar de representaciones realistas. 4) Si la distinción se vuelve difusa, el análisis de la función de los modelos en la práctica científica debe enfocarse en su rol en la formulación de leyes y en la construcción de teorías científicas. 5) El desarrollo de las teorías científicas no es por la suma de parámetros a una estructura idealizada sino por la proliferación de distintos modelos que responden a diferentes propósitos.

Conclusión y Direcciones

El argumento de Morrison busca mostrar que el planteamiento de McMullin con respecto al modo de proceder de la idealización como el manejo de los impedimentos y del proceso de des-idealización bajo la noción de aproximación y acumulación, no logra capturar la forma en que las teorías se construyen y desarrollan. Para Morrison, la propuesta de McMullin proporciona una imagen simplificada del rol que las idealizaciones en la construcción y desarrollo de modelos como son realizados en la práctica científica.

La divergencia de planteamientos se basa en los supuestos sobre los que cada postura se desarrolla. En el caso de McMullin el marco de su enfoque surge desde un realismo

científico que considera a las teorías científicas como aproximadamente verdaderas y que supone una distinción entre los esquemas conceptuales y la realidad independiente. Por su parte, Morrison se sitúa en una posición muy cercana a la de Cartwright al sostener un instrumentalismo teórico. Para ambas autoras los modelos científicos deben referir a los fenómenos observables que son a lo único a lo que tenemos acceso. De acuerdo con Morrison, los modelos que se aventuran a explorar las propiedades microscópicas o macroscópicas de los fenómenos deben pensarse como produciendo posibilidades físicas concretas; evaluadas por su poder predictivo, el cual se considera como una pieza clave para aceptación de los modelos.

Una virtud del planteamiento de Morrison radica en su concepción de la idealización que permite la exploración de la teoría a través de la construcción de modelos que involucran posibilidades físicamente realizables, y en las críticas que elabora a los programas que abogan por un desarrollo acumulativo de los modelos científicos, los cuales si bien tienen lugar en ciertos contextos científicos, limitan el entendimiento de esta técnica como también es empleada en la práctica científica. Un tratamiento de la idealización no sólo debe centrarse en los casos en que se conoce de antemano el desvío que provoca la introducción de idealizaciones, además debe considerar los casos en los que se carece de una estructura estable sobre la cual fijar una relación de aproximación entre modelo y mundo. La suma de parámetros puede llevarse a cabo sin implicar un proceso acumulativo que haga del constructo una representación más precisa, la suma de cada parámetro representa un cambio en la estructura del modelo i.e. un cambio en el entendimiento conceptual del fenómeno. Por esta razón, Morrison afirma que el desarrollo de las teorías ocurre a través de la proliferación de estructuras, cada una dedicada a satisfacer distintas necesidades prácticas o epistémicas.

En lo que sigue me centraré en el programa propuesto por Weisberg en torno a la idealización científica. Su enfoque propone un entendimiento acerca de la idealización que no sólo se centre en su forma de operar y productos, sino también en las metas y propósitos que determinan su proceder. Además, su propuesta resulta interesante pues permite entender a la idealización en otros contextos científicos que arguyen por la producción de modelos no solo diferentes, sino también inconsistentes entre sí. De acuerdo con Weisberg, la inconsistencia entre los múltiples modelos no debería entenderse como un detrimento para los intereses epistémicos de la ciencia, sino más bien como posibilitando la comprensión de fenómenos altamente complejos.

IV. Usos y metas de la idealización científica: un enfoque pluralista

En “Three kinds of idealization” (2007) Michael Weisberg desarrolla un enfoque pluralista acerca de la idealización científica. A esta técnica la define como la ‘introducción intencional de distorsiones en las teorías científicas’ (Weisberg; 2007: 1). Aunque la caracterización es amplia, la tesis que demarca su propuesta es que la idealización opera al nivel de teorías y modelos. Esta delimitación involucra la introducción de distorsión en la representación conceptual del fenómeno (como lo es en la propuesta de Morrison y en la idealización constructiva desarrollada por McMullin) y excluye la manipulación de la situación problemática (descartando la idealización galileana causal y subjuntiva). Weisberg busca enfatizar el hecho de que la distorsión introducida en los modelos y teorías científicas es una actividad que opera con el fin de satisfacer ciertas metas explicativas o metodológicas y no es - como ciertos enfoques suponen- una consecuencia de la relación entre teorías y mundo (Weisberg; 2007: 2).

Esta tesis es estrechamente cercana a los planteamientos elaborados por Morrison. Como se expresó en el tercer capítulo, Morrison considera que el argumento acerca del uso de idealizaciones del realismo científico se basa en la noción de aproximación a la realidad. El argumento es puesto en duda al considerar casos en los que la relación no puede ser establecida. Tanto Weisberg como Morrison señalan que el entendimiento acerca de la idealización científica y su uso debe ser planteado sobre otras bases. Debido a que en muchas ocasiones se desconoce el estándar sobre el cual establecer la relación de aproximación y, dado que la construcción de modelos es guiado a satisfacer distintas necesidades u objetivos -tanto pragmáticos como epistémicos-, la justificación y el uso de idealizaciones en la práctica científica debería entenderse bajo un contexto en particular, sin que esto excluya incluso un caso de aproximación³⁷. En el caso de Morrison el éxito de los modelos está dado por su función predictiva, bajo este estándar se cumple con el encuentro del mundo empírico. Al igual que Cartwright, se pronuncia a favor de un aspecto fenomenológico de la ciencia.

Weisberg enfatiza el rol de la idealización en la obtención de explicaciones científicas; como se verá, una función importante de lo que designa como idealización minimalista es el

³⁷ Si bien Morrison rechaza la noción de aproximación a la realidad, ella acepta un tipo de noción de aproximación, aunque ésta es establecida entre modelo teórico y modelo de datos. Aunque tampoco niega la un mundo externo e independiente sobre el cual se realizan observaciones y predicciones, la autora participa de un instrumentalismo bajo el cual la búsqueda de estructuras internas no es productible en tanto que se desconoce, en algunos casos, cuál es la estructura con la cual los modelos deben identificarse o aproximarse.

jugar un papel cognitivo en la formulación de explicaciones a través de la historia causal del fenómeno, punto compartido con Cartwright. Una diferencia esencial entre los planteamientos de Morrison y Weisberg es que el segundo afirma una versión del realismo científico con un importante matiz: el propósito de desarrollar una descripción completa y precisa acerca de la realidad no siempre es obtenible; sin embargo aboga por la tesis acerca de la separación entre esquemas conceptuales y mundo, igual que McMullin. El punto con Morrison es que para ella, la línea que separa cada dominio es, en muchas ocasiones, un asunto indiscernible; se carece de un estándar bajo el cual establecer dicha división.

Weisberg sigue la línea de estos planteamientos y desarrolla un enfoque pluralista no sólo por distinguir diferentes usos de la técnica, sino por presentar un marco desde el cual el operar de cada tipo de idealización es en relación a las distintas necesidades y metas que dirigen la construcción y el desarrollo de los modelos científicos. Un entendimiento más global acerca de la idealización científica se produce, de acuerdo con Weisberg, si tenemos en cuenta que no hay un único propósito ni un tipo de metodología que rijan su uso. Aunque ello impide el desarrollo de una caracterización estándar –y en ausencia de un planteamiento sistemático acerca de la naturaleza y uso de la idealización– Weisberg considera que los tres tipos de idealización que identifica (galileana, minimalista y de modelos múltiples) capturan, en gran medida, la función de la técnica en la práctica científica. Cada forma de idealización se determina por su particular forma de operar, por la especial justificación que acompaña su proceder y por la manera en que cada uno de ellos responde a lo que Weisberg nombra ‘ideales representacionales’ i.e. los objetivos que dirigen la construcción y desarrollo de los modelos científicos. Los ideales representacionales obedecen dos tipos de reglas: por las reglas de inclusión se determina los elementos, propiedades y relaciones que estarán contenidos en el modelo; por las reglas de fidelidad se define el grado de precisión y fidelidad con lo que cada parte del modelo es evaluado.

En las secciones siguientes presento los tres tipos de idealización en relación a los ideales representacionales. En el segundo apartado introduzco algunos comentarios con respecto a algunos matices que considero deben realizarse a su tratamiento acerca de la idealización galileana y su justificación. En el tercer apartado muestro algunas consecuencias que surgen al considerar a la idealización de modelos múltiples. Finalmente, se expone el marco bajo el cual Weisberg inserta el uso y justificación de las idealizaciones.

1. Weisberg: tres tipos de idealización científica y los ideales representacionales

- Idealización galileana

Para Weisberg, la idealización galileana a la cual hace referencia McMullin es solo un tipo de idealización utilizada en ciencia. La caracteriza como la práctica de introducir distorsión en las teorías científicas a fin de simplificarlas y hacerlas matemáticamente tratables. De acuerdo con el autor, el empleo que hizo Galileo de esta práctica, fue bajo el objetivo de hacer al fenómeno de la aceleración gravitacional una situación experimental y teóricamente tratable para su análisis. La simplificación y omisión de factores relevantes facilita al investigador de un sistema con el cual comenzar su estudio, permitiendo el cómputo de los elementos y un acercamiento a la situación problemática. Al lograrlo, continúa un segundo movimiento en el que se añade gradualmente el detalle simplificado para, finalmente, obtener una representación precisa y detallada acerca del fenómeno.

Weisberg adjudica una justificación pragmática a la idealización galileana al centrarse en la utilidad de la simplificación al hacer a la teoría computacionalmente tratable al investigador: “Simplificamos a teorías computacionalmente más tratables a fin de obtener tracción en el problema. Si el teórico no idealiza, se encontraría en una peor situación, atorado con una teoría intratable.” (Weisberg; 2007: 3). Puesto que los avances en el poder computacional y las técnicas matemáticas permiten un continuo refinamiento de los modelos producidos a través del proceso de des-idealización, la idealización galileana es una técnica altamente sensible al actual estado de una ciencia.

En tanto la práctica es diseñada para facilitar el trato de los elementos y cuyo objetivo es lograr un modelo completo resultado de añadir el detalle omitido través del proceso de des-idealización, el ideal representacional que guía y evalúa el proceder de esta técnica es el de completitud. A través de este ideal se establece que la mejor descripción teórica de un fenómeno es la que produzca una representación completa del *explanandum*. La regla de inclusión de este ideal representacional, determina que cada propiedad del fenómeno debe ser incluida en el modelo -factores internos- ; también debe ser incorporado todo factor externo que dé lugar a dichas propiedades; y así mismo, las relaciones causales y estructurales deben ser contenidas en el modelo. Las reglas de fidelidad en el ideal de completitud establecen que

el mejor modelo es el que representa completamente todo aspecto del fenómeno (tanto interno como externo). Como ya se muestra, el ideal de completitud es imposible de cumplir. Sin embargo, se le considera como un ideal regulativo que guía la investigación y el desarrollo de los modelos producidos por la idealización galileana al poner una escala sobre la cual evaluar las representaciones, o como una guía del continuo proceso de des-idealización.

Weisberg ubica al ideal de simplicidad como propio de otro tipo de la idealización. Sin embargo considero que este ideal también guía la práctica concerniente a la idealización galileana por las siguientes razones. De acuerdo con el autor, el ideal de la simplicidad, a través de la regla de fidelidad, exige un encaje cualitativo entre el comportamiento del sistema (fenómeno) y la dinámica de la estructura del constructo a través de una relación de correspondencia. Por la regla de inclusión, demanda que el modelo incluya lo mínimo necesario en tanto la regla de fidelidad sea cumplida. Este ideal es empleado principalmente en dos contextos: 1) uno pedagógico, donde el uso de modelos simples sirve para introducir a los estudiantes a las teorías científicas. 2) Un contexto de prueba, en el cual, las ideas generales acerca de un fenómeno son desarrolladas durante la construcción de un modelo; una vez entendida la dinámica del constructo se examina modelos más complejos que -cotejados con datos empíricos- permiten evaluar la plausibilidad y aceptabilidad del modelo inicial.

Parece contradictorio que la idealización galileana sea guiada por el ideal de completitud cuya finalidad es obtener un modelo completo y preciso acerca del fenómeno y esté a la vez orientada a cumplir con el ideal de simplicidad. Sin embargo, se olvida que la idealización galileana está compuesta por dos etapas: una donde la idealización simplifica la estructura del *explanandum*, y otra donde el constructo obtenido es continuamente refinado por procesos de des-idealización. El ideal de simplicidad guía el proceder de la primera etapa de este tipo de idealización. Por otra parte, el ideal también demanda que la haya una relación de correspondencia entre la estructura del modelo y la estructura del *explanandum*. Para McMullin un desarrollo exitoso del proceso de de-idealización opera bajo el supuesto de que el modelo construido corresponde – aunque sea de manera aproximada- con la estructura real del fenómeno. Un desarrollo más detallado de dicha tesis se encuentra en el primer capítulo de este trabajo.

- Idealización minimalista

La idealización minimalista opera en la construcción de modelos teóricos que representan las estructuras o factores causales esenciales relevantes de la situación problemática en estudio. La idealización opera al aislar los núcleos causales que permitan el entendimiento de la situación problemática y su explicación. Los factores causales esenciales son aquellos que hacen una diferencia en la ocurrencia del fenómeno, esto es, que en caso de eliminarse el fenómeno no se produzca. Dado que sólo los núcleos causales relevantes son representados en el constructo, el modelo producido es caracterizado como minimalista.

Los modelos minimalistas obtenidos por esta práctica dan cuenta del comportamiento del *explanandum* apelando al historial causal que da lugar a la ocurrencia del fenómeno. Por esta razón, la justificación de la idealización minimalista radica en su función cognitiva que posibilita al investigador la elaboración de explicaciones. Weisberg trae a cuenta distintos enfoques que, de igual modo, establecen una relación entre modelos minimalistas y explicación, la particularidad de cada enfoque es con respecto al procedimiento (razonamiento contrafáctico, asintóticamente, manipulación directa) por el cual aislar los factores causales relevantes:

Hartmann argumenta que los modelos minimalistas literalmente nos dicen cómo se comportan los fenómenos en un mundo más simple que en el nuestro. Esto nos da la información necesaria para explicar los fenómenos del mundo real. Para Batterman, los modelos minimalistas demuestran cómo las propiedades estructurales fundamentales de un sistema generan patrones comunes entre los fenómenos distintos. Strevens y Cartwright miran las cosas más causalmente, describiendo el rol de los modelos minimalistas como mostrándonos los factores causales que dan lugar al fenómeno de interés. En todos estos casos, la idealización minimalista es conectada a la explicación científica. Los modelos minimalistas aíslan los factores causales explicativos ya sea directamente (Cartwright y Strevens), asintóticamente (Batterman), o vía un razonamiento contrafáctico (Hartmann). Cada caso, la clave explicativa es un caso especial de factores causales privilegiados. (Weisberg; 2007: 8)

Weisberg apunta que las representaciones obtenidas por el uso de la idealización minimalista pueden ser las mismas que las elaboradas por la idealización galileana: ambas pueden desarrollar modelos teóricos que capturen la estructura mínima del *explanandum*. No obstante, la diferencia entre estos tipos de idealización, según el autor, no es con respecto a sus productos sino a la justificación que acompaña cada tipo de proceder. Para la idealización minimalista el uso del modelo producido se justifica si éste representa los factores causales que dan lugar a la explicación del fenómeno; en el caso de la idealización galileana la justificación

del modelo dependerá de su utilidad en el cálculo de los elementos de los fenómenos de los que busca dar cuenta (Weisberg; 2007: 7-8).

Otros aspectos que distinguen a la idealización minimalista son: 1) A la idealización minimalista no le continúa un proceso de de-idealización. Dado que la estructura del modelo minimalista captura los factores causales que hacen la diferencia en la ocurrencia del fenómeno, no es necesario para éstos agregar nuevos parámetros de corrección o más factores causales. 2) El objetivo de la idealización minimalista es el de la explicación por el historial causal de los factores relevantes, el añadir más detalle a los modelos no es mejorar las explicaciones. 3) La producción de una representación precisa y completa no es relevante para la idealización minimalista; los núcleos causales esenciales que le permitan conocer la estructura del fenómeno para dar cuenta de su comportamiento sí. 4) Considerando los puntos anteriores, la idealización minimalista no está ligada al progreso de la ciencia: “La idealización Galileana debe atenuarse en la medida en que la ciencia progrese, este no es el caso para la idealización minimalista. El progreso en la ciencia y el aumento en el poder computacional deben conducir a las dos aparte, incluso si generan el mismo modelo en un momento particular.” (Weisberg; 2007: ídem)

Parecería que la idealización minimalista estaría guiada por el ideal de simplicidad pues la estructura del modelo producido incluye sólo los componentes causales mínimos con los cuales dar cuenta de un fenómeno. Sin embargo, el ideal de simplicidad no se compromete con encontrar los factores causales para generar modelos explicativos, un factor cardinal en la construcción de los modelos mínimos.

El proceder de la idealización minimalista es guiado por el ideal causal. Por las reglas de inclusión este ideal exige que el modelo incluya sólo los factores causales esenciales o primarios que dan lugar al fenómeno. Esto es, que se incluya las interacciones que componen la explicación de la estructura del fenómeno a través de su historia causal relevante. Por las reglas de fidelidad se determina si el modelo construido es un modelo adecuado o no, lo cual dependerá de la medida en que el modelo cumpla satisfactoriamente con las reglas de inclusión. La utilidad de este ideal se produce en dos contextos: 1) cuando los modelos son considerados como puntos de partida para la formulación y análisis de modelos más complejos, sin olvidar que una mayor precisión cuantitativa no implica un mayor

entendimiento. 2) En el contexto de construcción de explicaciones científicas donde el cumplimiento de ideal causal es importante para su elaboración y constitución.

Antes de terminar con ésta sección quisiera dar cuenta de la siguiente cuestión: ¿Por qué Weisberg sostiene que la idealización galileana de McMullin sólo posee una dimensión pragmática y relega la justificación epistémica a otros tipos de idealización él considera? El tratamiento acerca de la idealización galileana que Weisberg desarrolla es un tanto estrecho. Si bien McMullin caracteriza a la idealización galileana como la técnica por la que la situación problemática es llevada un orden más simple y dicho nivel facilita al investigador el trato de la situación problemática; el objetivo primario de la idealización galileana es hacer uso de ese orden para dar cuenta del *explanandum*. Para McMullin, la explicación de los fenómenos se origina al encontrar un nivel que permita un primer acceso al fenómeno o situación problemática a través de la construcción de modelos, o por la manipulación de los elementos de la situación problemática. Una vez conocido el comportamiento del fenómeno se infieren leyes teóricas desde las cuales se deriva la explicación del *explanandum*.

Weisberg ubica como rasgo esencial de la idealización galileana su aspecto instrumental, enfocándose en la manera en que esta técnica permite el cómputo de los elementos, olvidando, que este aspecto opera bajo el objetivo de asir los elementos esenciales del *explanandum* para su **explicación**. De ser así, el planteamiento de McMullin es más amplio de lo que Weisberg reconoce. Además, Weisberg presenta a la idealización galileana con el objetivo último de proporcionar una reproducción completa del fenómeno, pero no es claro que el proceso de des-idealización sea el núcleo de su justificación, ni su objeto. Si bien una consecuencia del proceso de autocorrección es hacer del modelo una representación cada vez más completa, la des-idealización también opera para el objetivo de dar validez a las explicaciones dadas por la estructura original. El ideal representacional que Weisberg vincula a la idealización galileana tiene que ver con el proceso de des-idealización y este entendido parcialmente. Los señalamientos de esta sección no se dirigen a afirmar una identificación entre los dos tipos de idealización -la idealización minimalista es ampliamente diferente a la galileana al centrarse los factores causales relevantes- sino a advertir que la idealización galileana no es ajena al tipo de justificación que adjudica a la idealización minimalista.

2. Idealización de modelos múltiples: pluralidad de idealizaciones

El tercer tipo de idealización considerado por Weisberg es el de modelos múltiples. Este es el tipo de práctica implicada en la elaboración de varios y distintos modelos, los cuales -en conjunto- intentan dar cuenta de una situación problemática compleja. Aunque los modelos estén relacionados por su objeto de estudio, en algunos casos sus estructuras resultan incompatibles entre sí; cada uno hace distintas afirmaciones acerca de las propiedades o del comportamiento del fenómeno. Como la idealización de modelos múltiples emplea distintos modelos para lidiar con fenómenos altamente complejos, su justificación no está ligada unilateralmente por su función pragmática ni en por su rol en la producción de explicaciones basadas en la estructura causal del fenómeno. Tampoco en la posibilidad de un proceso de desidealización que aumente la precisión del modelo ni en la espera la producción de un único constructo que capture la estructura del fenómeno (Cf. Weisberg; 2007:5).

Weisberg toma el argumento de Richard Levins (1984) para explicar la necesidad de los diferentes supuestos, fines y justificaciones que da lugar a la construcción de múltiples modelos. De acuerdo con Levins, lo que dirige la construcción de modelos en la práctica científica son las diferentes metas o *desiderata* que guía la investigación científica. El argumento es el siguiente:

P1: Las limitaciones cognitivas, la complejidad del mundo y los constreñimientos de la lógica impiden lograr simultáneamente varias *desiderata* científicas.

P2: Algunos *desiderata* son incompatibles con otros en ciertas circunstancias.

P3: Ante la presencia de inconsistencias entre distintos constructos, es imposible esperar que un único modelo tenga al mismo tiempo *desiderata* contradictorios.

∴ Entonces, es necesario construir múltiples modelos cada uno atendiendo un *desideratum* particular, los cuales colectivamente pueden satisfacer las necesidades científicas.

Así, siendo distintos los *desiderata* que guía la construcción de los modelos también son distintas las justificaciones que puedan darse con respecto a cada uno de ellos. La construcción de modelos múltiples podría estar justificada si permite, en conjunto, el desarrollo de teorías más verdaderas. O bien el conjunto de varios modelos simples puede aumentar la generalidad de un marco teórico con el cual lograr una mayor profundidad explicativa. Así mismo, el uso de distintos modelos podría incrementar el poder predictivo de

una teoría. Como se muestra, la justificación de este tipo de idealización -explicativa, pragmática o de otro tipo- dependerá de los *desiderata* bajo los cuales cada modelo sea construido. También la permanencia de los constructos variará: algunos modelos estarán ligados al progreso de la ciencia, el desarrollo de otros dependerá de su capacidad para capturar adecuadamente el *desideratum* específico por el que fue diseñado. La idealización de modelos múltiples no se define por un único ideal representacional que lo guíe, por lo tanto, cualquier ideal representacional juega un rol en esta forma de idealización. A continuación presento los ideales de maximización, generalidad p y simplicidad considerados por Weisberg.

Bajo el ideal de maximización, el modelo es construido para amplificar su capacidad predictiva maximizando la precisión y exactitud de sus resultados. Aunque Weisberg no define cuales son las reglas de inclusión y fidelidad que determinan a este ideal; se puede afirmar que, de acuerdo con las primeras, el modelo debe incluir y hacer uso de aquellas técnicas que permitan asegurar la precisión y exactitud de los resultados del modelo, ya sea a través de la precisión de las propiedades o factores causales que afectan el sistema, o por un proceso de selección y designación de valores a los parámetros que mejor correspondan con los datos, los cuales son continuamente precisados a la luz de nueva información. Por las reglas de fidelidad, el ideal de maximización sanciona los casos en que los modelos se comportan como ‘cajas negras’, esto es, cuando el modelo desarrollado contiene un alto poder predictivo pero se desconocen las razones de su éxito (Cf. Weisberg; 2007:16)³⁸. Para Weisberg la utilidad de los modelos construidos bajo el ideal de maximización se centra en su poder predictivo. No obstante el autor advierte que, aunque el modelo se enfoque en maximizar la precisión de resultados, ello no merma el valor de de este tipo de modelos aún si no son provechosos para la producción de explicaciones.

La generalidad es un ideal representacional que determina el campo de aplicación y alcance de los modelos científicos. Por esta razón, el ideal de generalidad guía la construcción y evaluación de casi todo modelo científico. Este ideal abarca dos distintos campos de aplicación: cuando refiere al número de objetos reales (*actual*) a los que el modelo particular se aplica, se obtiene un tipo de generalidad-A. Si los objetos que el modelo captura son

³⁸ El tipo de sanción que Weisberg da a los modelos que se comportan como cajas negras, es el mismo tipo de peligro que describe McMullin al integrar modificaciones ad hoc a los modelos producidos por las técnicas de idealización. Para ambos autores, los modelos son defectuosos o no son deseables si se desconoce el éxito su de poder predictivo o si dichas modificaciones corren sin explicación en el modelo.

posibles, entonces tenemos el caso de la generalidad-P, esto es, un modelo con generalidad-P da cuenta no sólo de los objetos que de hecho se dan en la naturaleza en éste momento de la historia, sino también en momentos anteriores o futuros, e incluso no sólo reales sino también posibles, razón por la cual goza una más amplia generalidad que la implicada en la generalidad-A. En este mismo sentido, Weisberg apunta que la generalidad-A puede suponerse como el tipo de ideal que debería guiar la construcción de los modelos, sin embargo: “los teóricos se interesan frecuentemente en la generalidad-P por varias razones. Los modelos de generalidad-P pueden ser parte de los marcos teóricos más ampliamente aplicables, lo que permite que sistemas reales y no reales sean comparados. La generalidad-P también es frecuentemente pensada para ser asociada con el poder explicativo.” (Weisberg; 2007: 17-18).

El poder explicativo proporcionado por la generalidad-P funciona bajo el supuesto de que los sistemas reales son mejor entendidos apelando a sistemas posibles que permitan capturar no sólo las relaciones que de hecho ocurren en el sistema, sino también cómo se desarrollan. Además, el ideal de generalidad-P permite determinar las relaciones fundamentales entre los elementos del modelo por un proceso de abstracción (Weisberg; 2007: 18). Dicho de otra manera, permite la abstracción de las interacciones básicas entre los elementos de un fenómeno ampliando la aplicación de la capacidad explicativa del modelo. Como Weisberg observa, el ideal de generalidad-p hace referencia a aspectos del fenómeno que pueden contener un bajo nivel de fidelidad pues las relaciones fundamentales que establecen afirmaciones acerca de la evolución del comportamiento del fenómeno descansan sobre un modelo que es demasiado simplificado (Weisberg; 2007:19). Es debido a la simplicidad del modelo lo que le permite gozar de un amplio alcance de generalidad.

Por su parte, el ideal de la simplicidad demanda, por sus reglas de inclusión, que el modelo incluya la menor cantidad de elementos como sea posible. La regla de fidelidad exige un encaje cualitativo entre el comportamiento del sistema (fenómeno) y la dinámica de la estructura del constructo a través de una relación de correspondencia. Los modelos construidos bajo el ideal de simplicidad permite que las ideas generales acerca de un fenómeno sean desarrolladas sin preocuparse, en este primer nivel, si las relaciones postuladas corresponden con el sistema real; una vez entendida las relaciones del modelo “los teóricos examinan modelos más complejos y datos empíricos para evaluar la plausibilidad de las explicaciones del modelo simple de un comportamiento del sistema real. (Weisberg; 2007:14)

Así, la idealización de modelos múltiples permite la elaboración de los distintos modelos que buscan dar cuenta de un fenómeno haciendo uso de distintas técnicas e ideales representacionales. Aunque cada modelo es distinto en tanto su construcción o evaluación es con respecto a un *desideratum* específico, en conjunto logran producir algún tipo de entendimiento acerca del fenómeno. Así mismo, la idealización galileana y la idealización minimalista son empelados para lograr distinto propósitos dentro la práctica científica, dado que cada tipo de idealización es lo bastante diferente el problema que queda es conocer bajo que tipo marco es justificada ésta pluralidad de idealizaciones.

3. Weisberg, la pluralidad de idealizaciones y el realismo científico

Dado que cada tipo de idealización se guía por distintos ideales representativos, lo que se obtiene es una imagen pluralista acerca de su uso y justificación, el problema es desde que marco justificar tal pluralidad. De acuerdo con Weisberg, una respuesta podría venir desde el antirrealismo: la construcción y aplicación de los modelos obtenidos por el uso de idealizaciones está justificada si lo que se exige es una maximización de adecuación empírica entre la teoría y sus consecuencias observables. Sin embargo, este tipo de respuesta rechaza muchas de las motivaciones básicas de la investigación científica que no tienen como fin la búsqueda de una adecuación empírica sino la de generar conocimiento acerca de la realidad. Por parte del realismo científico la respuesta tampoco es favorable, esto es, si se caracteriza al realismo científico como la postura que afirma que el propósito de las ciencia es el de proporcionar descripciones exactas acerca de la realidad, entonces el uso de idealizaciones resulta incompatible con esta postura, su empleo significa la introducción de distorsión en las teorías científicas.

No obstante, Weisberg considera que podría darse una respuesta que respete las motivaciones de la práctica científica desde un marco realista, aunque ello requiera de una reformulación de la caracterización del realismo científico haciéndola más amplia y sofisticada. Los problemas para una postura realista surgen al considerar la idealización minimalista y la idealización de modelos múltiples; en el caso de la idealización galileana, aunque su propósito de dar una representación precisa acerca de una situación problemática falla al involucrar la distorsión de sus elementos; su meta puede ser lograda a largo plazo por

el proceso de des-idealización, lo cual cumple con las aspiraciones realistas al desear la obtención de exactitud en el modelo. Para la idealización minimalista otro es el caso, la motivación no es la de obtener una representación precisa de la realidad sino una que permita el descubrimiento de la estructura causal de los fenómenos lo cual requiere de la identificación de factores causales relevantes. Por lo tanto, aún si no logra dar una descripción exacta, sí produce conocimiento y explicación acerca del mundo.

La cuestión cambia en el caso de la idealización de modelos múltiples. A diferencia de la idealización galileana y minimalista, su proceder no se compromete con la producción de un único modelo que sea capaz de proporcionar una descripción exacta o explicación esencial acerca del fenómeno. No obstante, según Weisberg, los investigadores que se comprometen con este tipo de idealización tienen como meta desarrollar una descripción más precisa de su *explanandum*. Si bien, un único modelo no puede contener la imagen completa de las propiedades y comportamiento del fenómeno, una colección de ellos sí. Por lo tanto, el conjunto de múltiples modelos logra proporcionar una representación más precisa, global e informativa acerca de la realidad, siendo así, congruente con las aspiraciones realistas.

Conclusiones y direcciones

Weisberg presenta un enfoque pluralista acerca del entendimiento de las idealizaciones en la práctica científica. Su tratamiento bien podría considerarse como la convergencia de muchas de las ideas que se han venido desarrollando en la literatura concerniente a éste tema, especialmente desde la propuesta de Cartwright (1983). En las conclusiones de éste capítulo me gustaría enfatizar dos. Weisberg argumenta a favor de una postura que considera que el uso de idealizaciones en ciencia debe estar determinado por algún tipo de desiderátum o, como él los llama, ideales representacionales. Con ello, el autor resalta algunas de las ideas ya desarrolladas, el uso de idealizaciones en, por ejemplo, la construcción de modelos, está guiado de acuerdo a distintos fines, remarcando la idea de que no es necesario que todo modelo deba cumplir con todos los desiderata que importan dentro de la práctica científica (como simplicidad, generalidad, precisión, etc.), sino que, es porque existen distintos desiderata que hay distintas maneras de lograr tales fines. Distintos procesos de idealización se llevan a cabo para la consecución de distintos ideales representacionales adecuados a las

preocupaciones científicas del momento. Y aún más, dado que muchos de los *desiderata* entran en oposición, no es posible que un solo y el mismo modelo pueda dar cuenta de distintos *desiderata* contrarios e inconsistentes entre sí. La idea también es compartida por Catherine Elgin, quien considera que distintos modelos pueden revelar diferentes aspectos de la realidad desde que se hacen manifiestas distintas propiedades del fenómeno. Dicho de otra manera, es porque los modelos son selectivos y que su precisión del modelo es limitada que no todas las propiedades del fenómeno en estudio son consideradas, mientras se enfoca en unas inevitablemente otras son ignoradas. Lo que esto permite es una multiplicidad de modelos acerca de un mismo fenómeno cuya integración es un entendimiento comprehensivo, los modelos científicos aunque no reflejan precisa y completamente la realidad, son capaces de proveer entendimiento. Conclusión también derivada de la propuesta de Weisberg.

Por otra parte, el planteamiento de Weisberg se particulariza porque también propone criterios de evaluación para los modelos resultantes del uso de idealizaciones. Estos criterios (que él llama reglas de inclusión y fidelidad) sirven para determinar el grado en que los modelos satisfacen a sus particulares *desiderata*, de tal manera que las preguntas acerca de si el modelo logra o no sus propósitos dependerán del contexto de cada modelo.

V. Conclusiones

A través del análisis de los distintos tratamientos que aquí se han tratado se pueden trazar las siguientes conclusiones. Por una parte se muestra que la búsqueda de un único concepto acerca de la idealización no es adecuada si lo que se quiere es conocer su **naturaleza** y función en la práctica científica. Una manera intuitiva de comenzar a entenderla es caracterizarla como la introducción deliberada de supuestos falsos en una situación específica. Aún con lo llano de esta caracterización, los debates surgen al intentar definir los procesos por los cuales se introducen idealizaciones y definir su campo de aplicación.

En cuanto a la primera cuestión, y como se observó en el primer capítulo, McMullin caracteriza a la idealización operando a través de procesos de simplificación, omisión y distorsión, éste último entendido como el producto de la simplificación del objeto al no considerarlo en su estado real o natural. Cartwright y Morrison sostienen que la idealización no sólo debe caracterizarse como implicando técnicas de simplificación y omisión; el concepto de idealización también implica la introducción de supuestos falsos o ficciones que no se comprometen con una noción de aproximación a la verdad. Weisberg caracteriza a la idealización en torno a la noción de distorsión que integra tanto el sentido entendido por McMullin como el comprendido por los proyectos de Cartwright y Morrison. Esta caracterización le permite identificar lo que ubica como tres diferentes tipos idealización, los cuales se trataron el capítulo cuarto.

El **campo de aplicación** también es un punto de divergencia para intentar delimitar un concepto acerca de la idealización: McMullin establece que la idealización es empleada en el manejo del contenido de la teoría y también destaca su aplicación en la situación problemática misma. Las propuestas de Cartwright, Morrison y Weisberg consideran que la idealización es introducida en las teorías científicas a través de una noción de relevancia por la cual su aplicación dependerá de los objetivos y propósitos que guían su proceder.

Además, la identificación de un sólo concepto acerca de la idealización deja de lado otros **contextos científicos en el que su uso es requerido**. Por ejemplo, para McMullin su uso se limita a aquellos casos en que la idealización opera bajo el supuesto de que se conoce el

grado de desvío que introduce en la representación o se conoce la manera en que los elementos omitidos afectan su objeto de estudio. Su propuesta deja de lado los casos en que la idealización opera aún desconociendo cual es el estándar de aproximación a la verdad sobre el cual relacionarse. No obstante, el planteamiento de McMullin no sólo considera la dimensión teórica de la idealización, es decir los casos en el que la idealización es introducida en la teoría para hacerla más tratable, sino que también involucra un uso en la situación problemática real que le permite establecer su empleo en la elaboración de experimentos científicos. Ningún otro enfoque hace énfasis en esta virtud del uso de idealizaciones en la práctica científica, se limitan a analizar su rol dentro del corpus de la teoría a través de modelos teóricos.

La pluralidad de idealizaciones en la práctica científica también se ve mostrada señalando los distintos **productos** que generan su uso. Los diferentes tratamientos que se han presentado aquí identifican distintos resultados de la técnica en la práctica científica. McMullin afirma que uno de los productos de la idealización es la construcción de modelos teóricos y experimentos, a partir de los que se derivan leyes teóricas desde las cuales se producen explicaciones. Cartwright critica este producto pues contiene el supuesto de que la naturaleza se comporta de la misma manera que la explicada por las leyes teóricas. Para ella, este tipo de leyes determinan el comportamiento de los elementos del modelo, si se afirma que lo expresado por las leyes teóricas es lo mismo que lo que ocurre en la realidad se hace una extrapolación injustificada de la situación idealizada a la situación real pues no se reconoce que las explicaciones generadas por esta técnica contienen un factor de relevancia por el cual se determinan los compromisos explicativos de los modelos producidos, los cuales son parciales e intencionales. Morrison considera que la idealización debería ser pensada como produciendo estados posibles físicamente realizables, lo cual, puede incluir una relación de aproximación, en el caso en que se conozca el desvío introducido por la idealización y también los casos en que se desconoce dicho estándar de comparación. Weisberg afirma que los productos deben ser pensados en relación a los ideales representaciones que guían y evalúan la introducción de idealizaciones en la práctica científica.

Como se dijo en la introducción, y por lo que se ha mostrado en éste trabajo, las distintas conceptualizaciones acerca de la idealización muestran que algunos rasgos de los procesos de la idealización dependen, en cierta medida de los **compromisos metafísicos** a los que se suscribe cada planteamiento. Como se ha visto, el enfoque de McMullin arguye por un

realismo científico en el que la noción de idealización no afecta la noción de verosimilitud pues su operar implica el supuesto de que las representaciones serán continuamente mejoradas para ser cada vez más verdaderas y completas a través de un proceso acumulativo. Cartwright, se circunscribe a un antirrealismo fenomenológico, por el cual se rechaza cualquier pretensión de obtener conocimiento verdadero a través de tratamientos teóricos y leyes fundamentales, y se aboga a favor de los relatos causales y leyes fenomenológicas. Morrison favorece un tipo de instrumentalismo que se pronuncia a favor de un aspecto fenomenológico de la ciencia que permite el desarrollo y proliferación de distintos modelos, cuya constitución y función dependerá de cada contexto científico. Desde esta perspectiva, se piensa que el producto del uso de idealizaciones es el de generar posibilidades físicas concretas; evaluadas y aceptadas únicamente por su poder predictivo. Weisberg también aboga por una versión del realismo científico que considere que el propósito de desarrollar una descripción completa y precisa acerca de la realidad no siempre es obtenible, este marco permite que las formas de idealización y sus productos sean pensados no como generando una descripción exacta acerca de la realidad pero si produciendo conocimiento y explicaciones acerca del mundo

Una de las líneas que se siguió en este trabajo fue la mostrar y argumentar a favor de la tesis de que distintas idealizaciones pueden interactuar e integrarse entre sí, si lo que se busca es producir un conocimiento más profundo y global acerca de la realidad. No sólo idealizaciones que actúen en un mismo nivel, sino también entre distintos niveles explicativos y/o campos de dominio. Es por esto que la multiplicidad de modelos idealizados puede proporcionar un mayor entendimiento acerca del mundo.

La idealización también puede ser extendida explorar y tratar de entender qué ocurre en la interconexión del conocimiento teórico obtenido por uso de simplificaciones, distorsiones e incluso por la introducción de supuestos falsos. Una de las ventajas claras del empleo de varias metodologías o técnicas es la de poder integrar múltiples modelos de diferentes niveles y campos de dominio. Los planteamientos de Weisberg y Morrison se unen para abogar por la multiplicidad y proliferación de los modelos que aumentan el entendimiento acerca de los fenómenos complejos.

A partir de lo expuesto en el cuerpo del trabajo se puede afirmar que una reconstrucción filosófica en torno a la idealización científica no debería centrarse en la

búsqueda de demarcar un único concepto que capture sus distintos roles y productos que tiene en la práctica científica. Los diferentes tratamientos aquí presentados dejan ver que existen diferentes conceptos de idealización que no pueden ser reducidos unos a otros pues cada uno da cuenta de distintos procesos, usos y productos que distintos tipos de idealizaciones tienen en diversos contextos científicos. Esta diversidad de concepciones en torno a la idealización permite entender las distintas maneras en que la práctica y el conocimiento científico se constituyen y desarrollan a través de una multiplicidad de procesos y resultados que la idealización tiene en diversos contextos científicos en donde su empleo es solicitado.

Uno de los principales propósitos de éste trabajo fue la de mostrar la manera en que distintas idealizaciones llevan a cabo diferentes procesos para lograr sus múltiples propósitos. De esta manera se expone la línea relevante del planteamiento que propongo. A mi manera de ver, intentar responder a las problemáticas epistemológicas y metafísicas en torno a la idealización requiere que, en un primer momento, se sepa las distintas formas de operar que enmarca el uso de idealizaciones en la práctica científica, sus distintos usos y contribuciones en la práctica científica.

Creo que es conociendo los distintos procesos que llevan a cabo las diferentes formas de idealizaciones y cómo éstos afectan a sus productos que es posible determinar cuál es la naturaleza del tipo de contribución epistémica que tienen las idealizaciones científicas, En este mismo tono argumento que, es teniendo en cuenta la diversidad de los procesos y productos de la idealizaciones y su relación con distintas metas y contextos científicos que se debe mostrar cuál es el marco metafísico que sustentan éstas prácticas, o bien cuáles modificaciones y qué tipo de compromisos deben sofisticar las posturas metafísicas adoptadas atendiendo así a las diferentes prácticas que lleva el científico cuando idealiza, las cuales como se muestra, son múltiples y diversas.

De ésta manera, busqué enfatizar el hecho de que la identificación de estos usos no es unilateral ni homogénea sino a través de un análisis por el que se observen los diversos papeles que juegan distintas idealizaciones en diferentes contextos científicos. Además quise mostrar que el sólo afirmar que la idealización implica simplificación, distorsión, o introducción de ficciones no es suficiente para dar cuenta de dicha noción, pues no dice nada acerca de la manera en se producen las idealizaciones y los diferentes procesos que enmarca su producción.

Dar cuenta de ésta última cuestión requiere conocer los distintos fines y contextos en los que las idealizaciones son constituidas y aplicadas, pues no operan del mismo modo las idealizaciones involucradas en, por ejemplo, la construcción de modelos que en experimentos, o cuando su propósito es lograr una descripción del fenómeno a cuando se buscan establecer explicaciones o predicciones. Aunque se emplee una noción de idealizaciones en todos ellos, el proceso por el que se llevan a cabo no es el mismo, el punto es ver, cómo se llevan cabo dichos procesos. Atendiendo estos procesos es que muestra la diferencia entre las distintas conceptualizaciones acerca de la idealización científica.

Bibliografía

- Ariew, Roger, (2011), "Pierre Duhem", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/spr2011/entries/duhem/>
- Azcarate Gimenez, C., (1984), "La nueva ciencia del movimiento de Galileo: una génesis difícil" en *Historia de las Ciencias y Enseñanza*, Barcelona, 203-208.
- Batterman, Robert W., (2009), "Idealization and modeling", *Synthese*, 169, 427–446
- Bokulich, Alisa, (2010), "Bohr's Correspondence Principle", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), <http://plato.stanford.edu/archives/win2010/entries/bohr-correspondence/>
- Bromley, D.A. (2000). *Gauge Theory of Weak Interactions*. Springer.
- Cartwright, Nancy. (1983). *How the laws of physics lie*. Oxford: Oxford University Press.
- _____ (1989). *Nature's capacities and their measurement*. Oxford: Oxford University Press.
- Elgin, Catherine (2007) "Understanding and the facts", *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*. Springer.
- _____ (2009). "Is Understanding Factive?" en *Epistemic Value*. Oxford: Oxford University Press.
- Frigg, Roman (2010) "Models and fiction" *Synthese* 172: 251–268 (Trad. Laura Ortega).
- Frigg, Roman y Hartmann, Stephan. 2012. "Models in Science" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de la primavera de 2012), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2012/entries/models-science/>>
- Galileo, G. (Trad. 1945), *Diálogos acerca de Dos Nuevas Ciencias*, (Trad. San Román Villasante. Buenos Aires, Argentina.
- Giere, Ronald (2004), "How models are used to represent reality", *Philosophy of Science*, 71: 742- 752.

- Ghirardi, Giancarlo, "Collapse Theories", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2011 Edition)*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/qm-collapse/>
- Jentschura, Ulrich D., Mohr, Peter J.; Tan, Joseph N.; Wundt, Benedikt J. (2008); "Fundamental Constants and Tests of Theory in Rydberg States of Hydrogenlike Ions", *Physical Review Letters*, American Physical Society. URL= http://www.nist.gov/pml/div684/fcdc/upload/PhysRevLett_100_160404-2.pdf
- Jones, Martin R., (2005) "Idealization and Abstraction: A Framework", en *Idealization XII*, Jones and Cartwright (eds.). *Poznań Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, Volume 86, New York: Rodopi pp. 173-217.
- Koertge, N. (1977), en 'Galileo and the problem of accidents', *Journal of the History of Ideas*, pp. 389- 408.
- McMullin, Ernan, (1985) "Galilean Idealization", *Studies in History and Philosophy of Science*, Pergamon Press; pp. 247-27.
- Mill, John Stuart, (1859) "Of the Composition of Causes," Capítulo VI de *System of Logic, Rationative and Inductive; Being a Connected View of The Principles of Evidence and the Methods of Scientific Investigation System of Logic* (1859) New York: Harper and Brothers, Publishers, 1859. En Formato HTML por Institute for the Study of Nature, 2008. www.isnature.org
- Morgan, M. S., Morrison, M. (Eds.). (1999). *Models as mediators. Perspectives on natural and social science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, Margaret (2005) "Approximating the real: The role of idealizations in physical theory" en Martin R. Jones and Nancy Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences* (Poznań Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, vol. 86), Amsterdam/New York: Rodopi. pp. 145-172.
- Mizrahi, Moti, (2011) "Idealizations and Scientific Understanding", Springer.
- Nowak, Leszek (1992) "The Idealizational Approach to Science: A Survey", en Brzeziński & Nowak. Véase también: *Idealization V: The Dynamics of idealization* (1994), y *Idealization X: The Richness of Idealization* (2000) de la serie *Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, (Tr. Paprzycka, K. and M. Kwiek), Amsterdam, Atlanta: Rodopi. Vol. 34 y vol. 69 respectivamente.
- Papp, Desiderio; (1945), *Historia de la física: desde Galileo hasta los umbrales del siglo XX*, Buenos Aires: Espasa Calpe Argentina.

- Radder, Hans, (2011) *El mundo observado / El mundo concebido*, México: Universidad Autónoma Metropolitana. (Original 1ra ed. (2006) *The World Observed/ The World Conceived*, University of Pittsburgh Press).
- Rott, Hans, “Approximation versus Idealization: the Kepler – Newton case”, en *Idealization II: Forms and Applications*, (Poznań Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, vol. 86), Amsterdam/New York: Rodopi. pp. 101-124.
- Stegmüller, Wolfgang (1979), *Teoría y experiencia* (Trad. Ulises Moulines), Barcelona: Ariel.
- Suárez, Mauricio (2009a) *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, London: Routledge.
- _____ (2009b) “La Filosofía de la Ciencia y de la Economía de Nancy Cartwright”, publicado en J. C. García-Bermejo (ed.), *Sobre la Economía y sus Métodos*, *Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, Editorial Trotta, pp. 383-394.
- Weisberg, Michael. 2007a. “Three Kinds of Idealization” a aparecer en *Journal of Philosophy* 104 – 12.
- Zamora Carranza, Manuel, (1998) *Termo I. Un estudio de los sistemas termodinámicos*. Manuales Universitarios No. 38, Universidad de Sevilla.