

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN HUMANIDADES EN LA LÍNEA DE
HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA:

Empirismo Estructural ¿una vía para la representación científica?

Alumna:

Mtra. Gilda Macedo Mira Andreu

Asesor:

Dr. Godfrey Guillaumin J.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE DISERTACIÓN PÚBLICA

No. 00120

Matricula: 209380645

EMPIRISMO ESTRUCTURAL ¿UNA VIA PARA LA REPRESENTACION CIENTIFICA?

En México, D.F., se presentaron a las 12:00 horas del día 27 del mes de marzo del año 2015 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. GODFREY ERNESTO GUILLAUMIN JUAREZ
DR. ALVARO JULIO PELAEZ CEDRES
DR. ARMANDO CINTORA GOMEZ

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron a la presentación de la Disertación Pública cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

DOCTORA EN HUMANIDADES (FILOSOFIA)

DE: GILDA MACEDO MIRA ANDREU

y de acuerdo con el artículo 78 fracción IV del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



Gilda Macedo Mira Andreu

GILDA MACEDO MIRA ANDREU
ALUMNA

REVISÓ

[Signature]
LIC. JULIO CÉSAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTORA DE LA DIVSIÓN DE CSH

[Signature]
DRA. JUANA JUAREZ ROMERO

PRESIDENTE

[Signature]
DR. GODFREY ERNESTO GUILLAUMIN JUAREZ

VOCAL

[Signature]
DR. ALVARO JULIO PELAEZ CEDRES

SECRETARIO

[Signature]
DR. ARMANDO CINTORA GOMEZ

ÍNDICE

Introducción general	4
CAPÍTULO I	
La relación medición-representación en el Empirismo Estructural de van Fraassen	
1. Introducción	19
2. Medir es representar, representación en el arte y en la ciencia	24
3. Representación y modelos	29
4. Visión perspectivista de la medición	33
CAPÍTULO II	
Versiones de la teoría Representacionalista de la Medición y sus supuestos sentidos de realismo	
1. Introducción	37
2. Versiones de la teoría representacionalista de la medición	39
3. El análisis de Berka y Balzer en torno a las teorías representacionalistas de la medición	48
4. Problemas en la teoría representacionalista de la medición	52
CAPÍTULO III	
Representación científica a través de Modelos	
1. Introducción	57
2. Modelos y representación	59
3. Modelos como ficciones la postura de Barberousse y Ludwing	61
4. Los modelos ficticios: la idealización y la abstracción matemática son procesos distintos de construcción de modelos	65
5. Los objetos de la física vs. el estructuralismo según Katherine Branding (el enfoque estructuralista de los objetos de la física)	66
5.1. Estructuralismo y representación	70
6. Modelos de datos, modelos de experimentos	73
CAPÍTULO IV	
Isomorfismo o la medición como criterio de representación para establecer bases empíricas	
1. Introducción	79
2. Contra el isomorfismo y la similitud	81
3. Cinco argumentos contra el isomorfismo y la similitud	86
4. La medición como criterio de representación	90

CAPÍTULO V

Paradojas de la Representación

1. Introducción	96
2. Representación en la microfotografía del siglo XIX	98
3. La medición como un proceso o método, medir no siempre es representar	103
4. Anamorfismo en el arte y el caso de “esto no es una pipa” de Magritte	109
Conclusiones Generales	112
Bibliografía	125

INTRODUCCIÓN GENERAL

Hacia finales de la década de 1980, el tema de la representación científica en la filosofía de la ciencia perdió cierto interés, que empezó a ganar el de las prácticas científicas. Uno de los principales factores que contribuyeron a colocar en segundo plano a la representación científica fue la obra de Ian Hacking (1981), *Representar e intervenir*, en donde se sugiere fuertemente sustituir la representación por la intervención como principal elemento para argumentar a favor de un realismo de entidades. Para este autor el experimento desempeña un papel central en la ciencia y los resultados obtenidos proveen de evidencia científica y tienen un la función fundamental de proveer buenas razones para creer en las entidades que postulan las teorías. Hacking defiende un realismo de entidades, las cuales se manipulan y/o detectan mediante la intervención por medio de experimentos; por ejemplo, al mirar a través del microscopio una célula, el experimentador puede inyectar fluido en ella o agregar color a la muestra. No obstante, los compromisos realistas de Hacking se extienden a la habilidad de manipular entidades inobservables, como los electrones y las secuencias genéticas, a un grado tal que se puede intervenir cierto fenómeno para obtener determinados efectos.¹

A pesar de la importancia e influencia del libro de Hacking, el tema de la representación científica ha resurgido en los últimos años.² El libro *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, de van Fraassen (2008), es uno de los principales factores que ha reactivado la discusión filosófica en torno al tema de la representación científica; uno de los elementos nuevos y centrales que ha integrado en su formulación es la noción de *medición científica* como una actividad central en la construcción de representaciones en la ciencia. Esta inclusión es un aporte novedoso al empirismo que van Fraassen ha trabajado desde la década de 1980. En un interesante artículo, Vadim Batitsky (1998) critica la postura de van Fraassen y sostiene que las interpretaciones empiristas de la relación entre las teorías y el mundo enfrentan dificultades insuperables cuando se considera la relación entre teorías científicas cuantitativas y el mundo. Batitsky plantea de manera convincente que el vínculo entre teorías científicas cuantitativas es decir, aquellas que han desarrollado ciencias más avanzadas y el

¹ Véanse: Allan, Franklin, "Experiment in Physics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2012 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/physics-experiment/>> y Anjan, Chakravartty, "Scientific Realism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2013/entries/scientific-realism/>>.

² Suárez (2003, 2004, 2009); Chakravartty (2006); French (2003); Giere (2004, 2010); Swoyer (1991); Pincock (2012); Ibarra y Mormann (2000); Monton (2010); Morrison (2009); Mundy (1986, 1987); Knuuttila (2011); Li (2007); Frigg (2010); Breidbach (2002).

mundo se establece por medio de mediciones científicas; por ello las interacciones con el mundo que llevan a una sistemática asignación de números a ciertos atributos físicos se dan a través de la medición y no principalmente mediante la observación simple, tal y como van Fraassen sugiere. El punto de Batitsky es que, a pesar de que van Fraassen habla de medición científica en *La imagen científica* (1980), ahí sólo le otorga un papel secundario colocando, a la observación como central. El párrafo del *La imagen científica* de van Fraassen que da lugar a la crítica de Batitsky es el siguiente:

La ciencia presenta una imagen del mundo que es más rica en contenido de lo que el ojo desnudo es capaz de discernir. Pero la ciencia misma nos enseña que incluso es más rica de lo que el ojo desnudo puede discernir. [...] Las interacciones de medición son una subclase especial de las interacciones físicas en general. Las estructuras definibles a partir de los datos de medición son una subclase de las estructuras físicas descritas. De esta manera, la ciencia misma distingue lo observable que postula del todo que postula.³

Ahora, en su libro *Scientific Representation*, van Fraassen le otorga un mayor peso y diversas funciones más complejas a su idea de medición científica respecto a la que aparece en *La imagen científica*, posiblemente en respuesta a las críticas de Batitsky. En términos generales, la medición científica es una práctica que genera *representaciones* mediante una actividad compleja que integra aparatos, matrices experimentales, cálculos matemáticos, conceptos teóricos, teorías, modelos, y cuya principal finalidad es asignar números a magnitudes. Cuando un número es asignado a una magnitud, según la teoría representacionalista de la medición, es interpretado como una representación de dicha magnitud. Una magnitud es entendida, en este contexto, como una propiedad medible de un sistema físico, lo cual significa que se le pueden asignar distintos valores como resultado de procesos de medición. Van Fraassen incorpora en su *empirismo estructural* una peculiar caracterización de medición científica que consiste en integrar tres elementos, a saber, el sujeto que mide, el instrumento mediante el cual se mide y la teoría científica involucrada en la medición. Y es peculiar, entre otras cosas, porque a diferencia de teorías representacionalistas de la medición como la de Suppes (Scott y Suppes, 1957), que incluye modelos, la de van Fraassen además incorpora un modelo que él denomina “de superficie”, el cual consiste en integrar tanto el tradicional modelo de datos con registros de observaciones llevadas a cabo

³ Bas C., Van Fraassen, *La imagen científica*, Paidós-UNAM, México, 1996, p. 83.[Las itálicas son del texto citado]

meticulosamente por largos periodos de tiempo.⁴

A pesar de estas diferencias en su idea de medición científica entre la manera en que la formula en *La imagen científica* y en *Scientific Representation*, conserva en éste último la distinción teórico-observacional a pesar de las muchas críticas que desde la aparición de *La imagen científica* ha recibido su noción de observación.⁵ En *La imagen científica* afirmaba que dicha distinción se podía trazar claramente entre aquello que se observa a simple vista y lo teórico, y el lugar donde se marcaba era relativamente fijo; ahora, sin embargo, en *Scientific Representation* plantea que mientras se mantenga dicha distinción no importa dónde se trace, lo importante es simplemente que haya una línea que separe lo teórico de lo observacional. Desde mi punto de vista, el problema principal que genera esta posición de van Fraassen es que no aclara qué elementos conforman “lo observacional” y cuáles “lo teórico” en el contexto de las mediciones científicas, siendo que éstas, desde por lo menos el siglo XIX y evidentemente en la ciencia contemporánea, obtienen sus datos “observacionales” mediante complejos instrumentos científicos; los cuales para operar y generar datos requieren de teorías científicas. Ineludiblemente, con ello, la distinción teórico-observacional adquiere una complejidad que van Fraassen no incorpora adecuadamente en su actual análisis de la naturaleza representacionista de la medición científica. Considérese por ejemplo, la medición terrestre de la velocidad de la luz llevada a cabo hacia finales del siglo XIX, en donde no solamente se utilizó un muy complejo instrumento de altísima precisión sino que el valor final se obtuvo mediante un largo proceso conformado por etapas escalonadas e interrelacionadas de mediciones sucesivas de complejidad creciente. En otras palabras, un entendimiento filosófico del *producto* de la medición requiere un estudio del *proceso*.⁶ No podríamos decir que esta determinación de la velocidad de la luz se llevó a cabo en un sólo acto de medida o bien mediante una clara distinción entre lo que es “observable” y lo que es “teórico”, por lo que es claro que para este tipo de mediciones científicas es insuficiente e inadecuado sostener simplemente, como lo haría van Fraassen, que dicha distinción se puede colocar en donde se quiera. En el capítulo 5 me detendré en analizar este ejemplo histórico para mostrar que algunas mediciones científicas que han sido determinantes en el desarrollo del conocimiento científico no pueden analizarse

⁴ Como lo veremos en el capítulo II, la idea de medición científica que desarrolla van Fraassen en *Scientific Representation* sigue estando arraigada en lo que genéricamente se conoce como teoría representacionista de la medición, a pesar de la mencionada diferencia con algunos autores que defienden esa concepción.

⁵ Entre las principales críticas a su noción de observación destacan los siguientes trabajos: Alspector-Kelly (2004); Fine (2001), Teller (2001); Bueno (2008, 2011).

⁶ Uno de los ejemplos recientes que muy amplia y adecuadamente dejan en claro este punto es el interesante libro de Hasok Chang (2004).

adecuadamente sólo con base en sus productos finales, como lo enfatiza van Fraassen. Veremos a lo largo de dicho capítulo que la medición científica es un proceso de etapas concatenadas de complejidad creciente que van generando diversas representaciones en cada nivel.

A pesar de las mencionadas críticas a su idea de observación, van Fraassen sigue insistiendo en su *Scientific Representation* en una noción de *observación a simple vista* o en el mejor de los casos con instrumentos “simples”, como el microscopio electrónico. Desde *La imagen científica* van Fraassen ha subrayado la importancia de la observación a simple vista en la formulación de su empirismo y ha mostrado consistentemente poco interés en incorporar una noción de observación definida principalmente por el uso de complejos instrumentos. En este sentido, recientemente Otavio Bueno (2011) ha mostrado cómo, en el caso de la nanotecnología basada en ADN, la observación a simple vista no es la que genera las representaciones relevantes en la construcción del conocimiento de nanoestructuras, sino que éstas son generadas mediante microfotografías de microscopios de fuerza atómica, conocidos como microscopios AFM por sus siglas en inglés (Atomic Force Microscopes). Otro microscopio que estudia Bueno es el microscopio de escaneo de túnel, o STM (Scanning Tunneling Microscope), el cual es capaz de tomar imágenes de superficies a nivel atómico cuya resolución puede llegar a 0.1 nm de resolución lateral y 0.01 nm de resolución de profundidad, con lo cual los átomos individuales dentro de los materiales son visualizados y manipulados. Bueno sostiene, en el marco de su intento por formular un empirismo científico, que las microfotografías generadas por ambos microscopios ofrecen evidencia visual que es parte fundamental del conocimiento generado en estos nanoniveles de realidad física. Estas consideraciones, que en el capítulo V analizaré en detalle, tienen dos importantes consecuencias que socavan el proyecto general de van Fraassen. La primera es que un proyecto empirista que se centre principalmente en la observación a simple vista y/o en instrumentos simples es muy estrecho en cuanto a su amplitud y limitado respecto a las representaciones que pueda analizar. La segunda es que diversas ciencias han utilizado desde hace mucho tiempo recursos cognitivos, específicamente microfotografías, cuyas capacidades visuales superan en rango y en detalle la limitada capacidad de observación a simple vista.

Siguiendo con esta línea de razonamiento, desde el siglo XIX la microfotografía se desarrolló específicamente por motivos científicos con el fin de obtener imágenes de aspectos del mundo físico que escapaban por mucho a la observación directa. La bacteriología y la histología de finales del siglo XIX fueron las primeras ciencias que se beneficiaron de la obtención de evidencia visual fija de lo muy

pequeño, incrementando así su ámbito de lo “observado” y generando nuevos criterios de objetividad. Consideremos simplemente que, antes de la microfotografía, se requería de ilustradores hábiles capaces de dibujar, asistidos por pequeñas lentes, imágenes de diferentes aspectos minúsculos de los fenómenos bajo estudio. En estos casos la objetividad de la imagen dependía en gran medida de la experiencia de quien dibujaba y en muchos casos se podía objetar la fidelidad de la representación del dibujo. Este problema es eliminado con el uso cada vez más complejo y sofisticado de la microfotografía.⁷

Regresando a los autores recientes que han retomado el tema de la representación científica como tema central de la filosofía de la ciencia, deben señalarse algunos trabajos que aportan elementos diferentes a, o en contra de, van Fraassen. Entre ellos, están los trabajos de Mauricio Suárez (2003, 2004, 2005 y 2009), quien ha criticado fuertemente el criterio de isomorfismo en el empirismo de van Fraassen. En la *La imagen científica*, van Fraassen sostuvo que el isomorfismo era el criterio de adecuación empírica y era una relación entre estructuras abstractas (entidades abstractas del modelo) y subestructuras empíricas (entidades concretas observables). El problema con esta formulación, tal como van Fraassen lo reconoció, es que el isomorfismo sólo tiene sentido entre estructuras abstractas por ser un criterio matemático; es decir, van Fraassen cometía un error categorial. Sin embargo, en su *Scientific Representation* el isomorfismo es reformulado como ajuste (embedding) entre estructuras abstractas en la representación. La consecuencia principal de esta rectificación es que su idea de representación científica se restringe al isomorfismo, lo cual es problemático porque, como correctamente lo ha establecido Suárez, una gran cantidad de casos relevantes de representación científica no son isomórficos.⁸ Otro tipo de críticas recientes de nociones de representación científica formuladas con base en el isomorfismo subrayan que muchas representaciones necesitan ser interpretadas, es decir, en varios casos no son evidentes ni hablan por sí mismas. En las prácticas científicas parte de la labor es reinterpretar las representaciones, lo cual permite considerar a la representación como un concepto

⁷ Este argumento de la asistencia, ayuda y ampliación de la observación científica mediante instrumentos se remonta, por referirme sólo a la ciencia moderna, a inicios del siglo XVII. Si bien Galileo utilizó por primera vez en 1610 el telescopio para observar detalles de Júpiter, la Luna, Saturno, etc., invisibles a simple vista, ampliando el rango de lo observable para la astronomía, fue Kepler quien entendió y formuló teóricamente las leyes de la óptica y de la fisiología del ojo humano que permitieron el desarrollo de telescopios varias veces más potentes y sofisticados que el usado por Galileo. Desde esa época y hasta la fecha, la ciencia ha incorporado y desarrollado de manera sistemática una gran variedad de instrumentos que amplifican la capacidad de observación, representación y medición científicas. Dada esta relevancia tripartita de los instrumentos en la generación del conocimiento científico considero que resulta fundamental el incluirlos en una postura empirista en torno a la ciencia.

⁸ Muchos casos relevantes de representación científica no son isomórficos, entre los cuales estarían modelos a escala, representaciones gráficas que sean fieles y amplifiquen sólo algunos detalles previamente seleccionados, diagramas, imágenes, ecuaciones, etc. Dada la importancia que tienen estos casos no isomórficos para elaborar un entendimiento más amplio y completo de la noción de representación científica serán analizados detalladamente en el capítulo IV.

reflexivo (Ibarra y Mormann, 2000, p. 5-6). Tales críticas abrieron el espacio para que el empirismo estructural de van Fraassen considerara a la medición científica y a la representación científica como relevantes para defender su proyecto empirista reformulando el isomorfismo que había caracterizado en *La imagen científica*.

Van Fraassen al reconocer que el isomorfismo es principalmente una relación entre dos estructuras abstractas replantea su noción de representación científica, lo cual implica afirmar que la representación es un tema de naturaleza matemática. Por otra parte, van Fraassen insiste como lo analizaremos en el capítulo I, en que “medir es representar”, ya que para él al medir una magnitud teóricamente relevante ésta es representada por un número. De esta manera, la medición científica para él tiene un papel sustantivo en establecer las bases empíricas de las magnitudes (cantidades) referidas en el marco de teorías específicas. Todo ello lo lleva a reconocer la importancia teórica no sólo de introducir el tema de la medición científica en relación a la idea de representación, sino sobre todo a analizar la idea de medición exclusivamente desde su naturaleza matemática, *i.e.*, teóricamente. Desde mi punto de vista esto debilita un análisis empírico satisfactorio de la idea de medición científica, y consecuentemente, de la de representación científica ya que una parte sustantiva de las prácticas de medición científica tiene que ver, como lo han mostrado muchos autores, con analizar las variadas y complejas relaciones entre teoría y medición, o bien, en entender a la medición científica como proceso y no sólo como producto. Por ejemplo, Karel Berka sostiene que “measurement encompasses different aspects and components of empirical theoretical nature, which are *mutually conditioned in a very complicated way*” (Berka, 1983, p. 14, itálicas mías). Van Fraassen desde mi punto de vista, debido a su excesivo énfasis en el análisis de la naturaleza matemática de la medición científica pasa por alto el tipo de problemas que claramente señala Berka: el concebir a la medición como una forma complicada y mutuamente condicionada de componentes teóricos y empíricos. Otra dificultad para la idea de representación en el empirismo estructural de van Fraassen, es que es un concepto sin límites claros y de criterios divergentes como se verá a lo largo de la presente investigación. Por ejemplo, analizaremos casos de la historia de la ciencia de representaciones científicas exitosas y relevantes que no se ciñen exclusivamente al isomorfismo, lo cual muestra no que el criterio de van Fraassen sea incorrecto sino que es muy limitado.

Quizás uno de los temas más importantes que surge en la medición científica como consecuencia de la relación entre sus componentes teóricos y empíricos es la exactitud y la precisión.

La precisión es un aspecto ligado al uso y ejecución de un dispositivo o instrumento de medición el cual sistemáticamente arroja resultados dentro de márgenes aceptados de error; mientras que la exactitud se refiere a qué tan cerca está el valor calculado respecto del valor real o del valor detectado mediante instrumentos. En otras palabras, la precisión de una medición científica es un aspecto práctico y/o tecnológico mientras que la exactitud refleja qué tan adecuada es la matemática que utiliza.⁹ Esta distinción es epistemológicamente muy importante porque implica que podemos tener mediciones científicas que sean exactas pero no precisas, precisas pero no exactas, exactas y precisas, o bien ni una ni otra; y son estas cuatro combinaciones determinantes dentro de los contextos científicos para evaluar que tan adecuadas y satisfactorias son las mediciones científicas. Sin embargo, ya que tales combinaciones hacen corresponder la matemática con los datos, el isomorfismo es inadecuado ya que requiere relacionar entre sí estructuras matemáticas y no datos empíricos con matemáticas. Siguiendo esta línea de argumentación la presente investigación mostrará, entre otras cosas, que la representación científica como componente fundamental de la idea de medición científica debe analizarse teniendo en cuenta la doble naturaleza de la medición, *i.e.*, como proceso y como resultado, y la interrelación entre exactitud y precisión. En ambos pares de casos la representación tiene funciones y alcances diferentes, que rebasan la sola relación entre estructuras matemáticas, ya que interrelaciona el desempeño de los instrumentos con el grado de exactitud de los modelos matemáticos.

Ahora bien, las representaciones científicas suelen ser de diferente tipo, por ejemplo, mapas, diagramas, gráficas, fotografías, ecuaciones, modelos a escala, imágenes, etc., y cada uno de ellos exhibe una gran variedad de funciones cognitivas como exponer, describir, acceder, presentar y explicar aspectos relevantes de los fenómenos representados. En este contexto, considero que es importante distinguir entre representaciones de fenómenos directamente observables o bien detectados mediante instrumentos, de representaciones de fenómenos que no son observables sino que son inferidos de diversas formas; por ejemplo, escalas geológicas, evolución de especies, desarrollo de galaxias, nanotubos de carbono, temperatura central del sol, velocidad de la luz, etc. Para todos estos casos, las ciencias correspondientes han desarrollado complejos sistemas de representación de esos fenómenos. Como lo analizaremos en el capítulo I, van Fraassen considera a la representación científica enfatizando

⁹ Andrew Robinson afirma que en la década de 1790 la medición del meridiano de París fue precisa pero no exacta. A pesar de que coloquialmente se puedan utilizar ambos términos correctamente como sinónimos, hay una diferencia epistemológica importante. La medición del meridiano realizada por Méchain era precisa porque era repetible, por lo cual, era internamente consistente, pero era exacta porque posteriormente no correspondió bien con otras mediciones más confiables del mismo meridiano como las realizadas por Delambre (Robinson, 2007, p. 65; Teller, 2013).

exclusivamente su aspecto observacional y no se detiene en explicar cómo se construyen las representaciones científicas en aquellos casos en que el fenómeno o proceso bajo estudio sólo es detectado y/o está fuera de cualquier medio de observación. Van Fraassen ilustra el núcleo de su idea de representación mediante la analogía con la técnica de la perspectiva en el dibujo con lo cual quiere incorporar la idea de medición científica en la manera en que dicha técnica de dibujo representa el objeto dibujado, *i.e.*, mediante un efecto de espejo.¹⁰ Esta estrategia le lleva a van Fraassen necesariamente a una posición realista de la representación ya que su pretensión principal es reproducir fielmente, respecto al ojo del observador (y al punto de fuga), ciertas proporciones métricas (distorsionadas por la perspectiva) del objeto dibujado. Esto es así porque la perspectiva busca a través de la percepción visual recrear los objetos (observados directamente) con base en sus atributos o dimensiones espaciales, teniendo en cuenta la posición relativa del ojo del observador respecto a los objetos. Esta estrategia, si bien ilumina correctamente diversos aspectos importantes de muchos casos de representación científica, excluye necesariamente todos aquellos casos mencionados en donde los objetos o procesos que son científicamente representados están fuera del alcance de la observación.

Si bien van Fraassen afirma que “medir es representar” es importante tener en mente que hay una tradición filosófica-matemática que ha afirmado eso mismo, entre la cual están Russell (1903), Campbell (1920), Nagel (1932), Stevens (1946, 1951), Scott y Suppes (1957), Suppes y Zinnes (1963) y Krantz *et al.* (1971), y cuya posición se conoce como teoría representacionalista de la medición. En realidad esta tradición sostiene que hay una variedad de teorías representacionalistas de la medición y fueron dominantes respecto a la naturaleza matemática de la medición científica durante el siglo pasado. Entre los principales elementos de la medición que son mencionados por esta teoría clásica están: la asignación de números a magnitudes, la relación uno a uno entre el número y la magnitud, la postulación de estructuras matemáticas, la relación entre entidades abstractas y concretas, el número como representación de la entidad concreta, etc., y todos estos elementos soportan la analogía entre medir y representar. Como lo ha hecho ver ampliamente Joel Michell (2005, 2007), un aspecto central

¹⁰ Como lo ha señalado James Ackerman, la perspectiva se propone reproducir un objeto o una escena como aparece a un observador en una posición particular, lo que da la impresión de distorsión del tamaño y la extensión particularmente respecto a los elementos lejanos del ojo hipotético del observador, mientras que la proyección axonométrica preserva en escala las mediciones reales de los objetos representados en cuanto a su tamaño, altura y profundidad (Scolari, 2012, p. ix). Esto nos lleva, tal como lo analizaré en el capítulo V, a mostrar que diferentes técnicas de representación, basadas en principios geométricos de un mismo sistema geométrico, preservan de manera diferente las proporciones de las magnitudes geométricas de los objetos que representan generando muy diferentes dibujos o pinturas de los objetos representados. Como se verá en dicho capítulo, esto constituye una dificultad importante para la analogía central utilizada por van Fraassen porque muestra algunos supuestos filosóficos fundamentales en cuanto a la representación que aparentemente van Fraassen deja de lado.

que define a las teorías representacionistas de la medición es su realismo, el cual significa que hay una realidad independiente del observador conformada por propiedades y magnitudes a las cuales se les pueden asignar números mediante procedimientos muy específicos, representando así el mundo mediante entidades abstractas. Tal como lo analizaremos, van Fraassen al desarrollar su noción de empirismo estructural, toma algunos de estos elementos de las teorías representacionistas de la medición y los integra en su concepción de medición científica. Sin embargo, debe subrayarse que lo que es diferente en van Fraassen respecto de estos autores clásicos es el hecho de que su interés está centrado en elaborar una concepción empirista de la ciencia que tome en serio a la medición científica y no una noción empirista de medición científica como en la tradición representacionista mencionada.

Los proyectos empiristas tradicionales de la ciencia, por ejemplo, Bacon, Hume, el empirismo lógico, Reichenbach, entre otros, han dedicado muy poco espacio al estudio de la medición científica, a pesar del papel central que tiene ésta en la construcción, evaluación, modificación y abandono de teorías científicas (Kuhn, 1961). Salvo algunas excepciones (Bridgman, 199?, Campbell, 1920, Nagel, 1932), la tradición empirista ha dejado de lado el estudio de la compleja interrelación entre componentes teóricos, matemáticos y prácticos que son constitutivos del conocimiento métrico del mundo físico (Berka, 1983). Desde mi punto de vista, la importancia desde este contexto histórico del empirismo estructural de van Fraassen radica en colocar el tema de la medición científica en un lugar primordial de dicho empirismo.

El objetivo de la presente investigación es mostrar que la medición científica representacionista interpretada isomórficamente no exhibe la compleja naturaleza cognitiva, epistémica y metodológica del *proceso* para generar conocimiento métrico del mundo físico, sino sólo aspectos teórico-estructurales de la medición científica entendida como *producto*. El término “medición científica” es ambiguo ya que se puede referir al *proceso* de medición científica o al *producto* de dichas mediciones. Una larga tradición en filosofía de la ciencia se ha centrado exclusivamente en estudiar el *producto* y lo ha interpretado en términos representacionistas; y a su vez esta representación se ha sistemáticamente entendido isomórficamente. Aquí me centraré, por una parte, principalmente en analizar aspectos metodológicos y epistémicos del *proceso* de la medición científica y, por otra parte, sugeriré que en algunas ocasiones el *producto* de la medición científica desde la interpretación representacionista debe entenderse anamórficamente.

Uno de los principales autores contemporáneos cuya propuesta se centra en analizar la medición

científica como *producto* representacionalista en sentido isomórfico es van Fraassen. Una parte de la presente investigación analiza las importantes contribuciones teóricas que genera el intento de van Fraassen por incorporar la idea de medición científica a su concepción empirista. Desde mi punto de vista, el empirismo tradicional había dejado de lado un detallado análisis del principal recurso teórico y práctico que la ciencia ha utilizado sistemáticamente desde el siglo XVII para, entre otras cosas, conectar las teorías con el mundo fenoménico, *i.e.*, la medición científica. Por otra parte, sin embargo, se mostrará que dicha caracterización de van Fraassen presenta algunas dificultades importantes y al mismo tiempo tiene un alcance limitado. Me interesa mostrar, por decirlo así, que en sus limitaciones están sus principales dificultades. Tales límites de su concepción de medición científica se encuentran principalmente en que utiliza una noción de observación directa, comprometiendo la explicación de casos exitosos de medición de magnitudes no directamente observables. Igualmente, limita su análisis a los aspectos teóricos de la medición dejando de lado el aspecto como *proceso* del conocimiento métrico. Así mismo, usar la analogía entre el arte y la ciencia para ilustrar la manera en que la medición científica representa lleva necesariamente a una gran variedad de estilos de representación debido a las múltiples y diferentes formas en que el arte representa, tales como expresionismo, abstraccionismo, cubismo, perspectivismo, etc. Al desarrollar van Fraassen esta analogía con la finalidad de clarificar su sentido de representación, se centra en uno solo de esos estilos, a saber el *perspectivismo isomórfico*, habiendo otros incluso contradictorios respecto al que él elige, por lo cual su uso es muy restringido de una analogía potencialmente fértil que ofrece muchas otras posibilidades teóricas que van Fraassen deja de lado. Finalmente, limita su análisis de la medición científica a su sentido de *producto* siendo que en la literatura estandar sobre medición científica se subraya la necesidad de entender a la medición tanto en su sentido de *producto* como de *proceso* (Berka, 1983; Kyburg, 2009; Ellis, 1968; Chang, 2004). La razón de esto radica en que el *proceso* de medición científica determina epistemológica y metodológicamente, tal como lo veremos en el capítulo V, aquello que se mide, *i.e.*, el *producto*.

Estas limitaciones tienen algunas consecuencias filosóficamente interesantes para una noción de medición científica aunque perjudican en ocasiones gravemente algunas tesis de van Fraassen. Por ejemplo, al excluir de su análisis el proceso de la medición, no incorpora los roles epistemológicos y metodológicos no sólo de los instrumentos sino también de los diferentes procedimientos estrictamente regulados que son necesarios en las prácticas de medición para asegurar conocimiento métrico confiable. Por otra parte, como se ha dicho, el asumir una teoría representacionalista de la medición

implica compromisos realistas, tanto a un nivel teórico como empírico, lo cual coloca a van Fraassen en una situación de tensión frente a su tradicional suspensión de juicio respecto a las entidades inobservables.

Dentro del marco de la literatura filosófica contemporánea sobre medición científica (Chang, 2004; Teller, 2013; Boumans, 2005; Batitsky, 1998; Frigerio, Giordani y Mari 2010; Michell, 2005, 2007; Sherry, 2011) no hay un análisis de la contribución que podría representar la manera en que van Fraassen desarrolla su idea de medición científica. Si bien van Fraassen toma nociones de la literatura mencionada, desde mi punto de vista provee al menos tres nuevos planteamientos respecto a la idea de medición científica, mismos que serán analizados en esta investigación. El primero es el papel del agente (sujeto) en el ámbito teórico de la medición, ya que los análisis sobre la medición no contemplan el rol del sujeto, generando con ello un enfoque perspectivista de la medición; el segundo consiste en su análisis de la representación de la medición mediante un argumento por analogía entre el arte y la ciencia, que a pesar de las dificultades mencionadas arriba, tiene la gran virtud de analizar la noción de representación desde un enfoque diferente, innovador y potencialmente fértil a diferencia de lo que encontramos en la literatura estándar sobre medición científica. En este punto me interesa particularmente señalar otros usos que van Fraassen no desarrolla de esta analogía ya que la considero muy iluminadora de la noción de representación respecto a la medición científica.¹¹ El tercero consiste en la mencionada incorporación que van Fraassen hace de modelos dentro de su caracterización de medición científica, especialmente del modelo de superficie, como se verá en el capítulo I. Si bien la tradición inaugurada por Suppes (Scott y Suppes, 1957; Suppes y Zinnes, 1963; Krantz *et al.*, 1971) integró modelos en su caracterización de medición científica, no es algo común que se encuentre en la literatura estándar a pesar de que una buena parte de las mediciones científicas utilizan de múltiples formas diferentes modelos matemáticos para calcular y determinar valores de magnitudes físicas. Contrariamente, dentro del marco de la literatura reciente que analiza al empirismo estructural (Ladyman, 2011; Bueno, 2011; Suárez, 2011; Chakravartty, 2010; Monton, 2010; Perdomo, 2014; Iranzo, 2014; Psillos, 2014; Muller, 2009; Mitchell, 2010; Giere, 2009), no hay un análisis detallado de la noción de medición científica desarrollada por van Fraassen, con la excepción de Psillos (Psillos, 2014), ni de su contribución a la literatura sobre medición científica. No hay tampoco, consecuentemente, un estudio que explicita la importancia que tiene para cualquier noción empirista de

¹¹ Lamentablemente, por cuestiones de espacio, no me será posible analizar en detalle cada uno de tales usos, sino simplemente señalar en detalle por qué son importantes.

la ciencia la incorporación del tema de la medición científica, que como se dijo arriba, es una de las principales aportaciones de van Fraassen a la idea general de empirismo. En otras palabras, lo que ya había eran nociones empiristas de medición científica, pero no un empirismo centrado en la medición. El objetivo de la presente investigación apunta a arrojar luz sobre estos temas interrelacionados.

Mi hipótesis de trabajo afirma que hay una tensión en el trabajo de van Fraassen entre, por una parte, la manera en que *conecta* la representación científica con la medición científica y, por otra parte, los *ejemplos* que utiliza para ilustrar tanto a las representaciones científicas como a las mediciones científicas; *i.e.*, las ideas de representación y de medición que conecta son mucho más estrechas que los ejemplos que utiliza para ilustrar ambas ideas. En otras palabras, me parece que el alcance descriptivo y explicativo del trabajo de van Fraassen es inesperadamente estrecho. Si esto es correcto, debido a esta forma estrecha en que relaciona la representación científica con la medición científica no sería posible analizar el complejo proceso de medición científica que, como se verá, consiste en la “interrelación de etapas” y cómo en dicho proceso se generan escalonadamente representaciones científicas. Entre la literatura reciente y especializada que analiza la nueva propuesta de van Fraassen no encontramos un análisis como el que aquí desarrollo.

Con el fin de alcanzar mi objetivo, he organizado la presente investigación de la siguiente manera: el primer capítulo caracteriza y analiza la noción de *medición científica* como representación que van Fraassen expone en su libro *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Un rasgo notorio es que incluye la utilización de modelos en el procedimiento de medición. Asimismo, se integran las modificaciones que el autor realizó respecto a sus anteriores versiones de empirismo científico. En este capítulo la medición tiene la principal función de representar, sin embargo, hago explícitas otras funciones que van Fraassen no desarrolla. Este capítulo sirve como punto de partida del análisis que posteriormente desarrollo de la manera en que van Fraassen conecta la medición científica con la representación científica.

Con el fin de colocar en un contexto de discusión más amplio la idea de *medición científica* como representación, en el segundo capítulo analizo las ideas de algunos de los principales autores que han desarrollado con detalle teorías representacionistas de la medición. Como lo veremos en este capítulo, a pesar de que entre tales teorías hay algunas diferencias importantes todas ellas comparten la idea de que el resultado de un proceso de medición es una representación de magnitudes físicas mediante números. Con ello se hacen evidentes dos desafíos a la propuesta de van Fraassen: por un

lado, que las teorías representacionistas de la medición tienen fuertes compromisos realistas, tal como lo muestran los análisis de Joel Michell (2007) y de Karel Berka (1983), y en muchos casos ese realismo es incompatible con el empirismo de van Fraassen dentro del contexto de la discusión realismo-antirrealismo; por otro, el análisis de los diferentes autores que defienden teorías representacionistas de la medición nos muestra una gran variedad de temas y problemas asociados a la idea de que la medición científica representa, en contraste, el desarrollo que hace van Fraassen de su teoría representacionista de la medición deja afuera una buena parte de esos temas y problemas centrales lo cual la exhibe (a la teoría de van Fraassen) como una teoría analíticamente parcial. Por ejemplo, como veremos en este segundo capítulo Wolfgang Balzer (1992) realiza un detallado análisis de la teoría representacionista de la medición mucho más complejo y amplio que el desarrollado por van Fraassen. Más problemática aun para la teoría de van Fraassen es lo que David Sherry (2011) señala al sostener que ni la formulación realista de la medición (a través de teorías representacionistas) ni la formulación empirista, que predominantemente realizan análisis formales, vinculan a la observación y otros procesos prácticos al análisis de la medición científica. Van Fraassen cae en el mismo diagnóstico de Sherry al subrayar aspectos formales y dejar de lado los componentes práctico-experimentales de la medición científica. El objetivo de este capítulo es analizar y hacer explícitos los supuestos realistas de la teoría representacionista de la medición; y en el capítulo de conclusiones se analizarán las consecuencias negativas que tiene para el empirismo de van Fraassen haber articulado una noción de medición representacionista (y consecuentemente realista).

Ahora bien, van Fraassen utiliza la idea de *modelo* como parte sustantiva de su noción de *representación científica*; sin embargo, sus tesis en este tema son limitadas si tomamos en cuenta a otros autores que han desarrollado el uso de modelos en ciencia. En el tercer capítulo analizo algunos de esos autores que consideran la relación entre distintos tipos de modelos y la idea de representación. Por ejemplo, será útil analizar la distinción entre modelos y ficciones que trazan Anouk Barberousse y Pascal Ludwing (2009) y Margaret Morrison (2009). Igualmente la crítica a la visión suppeana de los modelos y las modificaciones propuestas por Katherine Branding (2011), así como su análisis de la relación entre modelos, estructuralismo y representación, servirán para mostrar que la perspectiva de van Fraassen requiere ser revisada. De particular importancia es el trabajo de Ronald Giere (2009) en torno a los modelos de datos y de experimentos como ejemplos de representaciones y el papel del agente (la intención) en la construcción del modelo. La idea de Giere de modelo de experimento es un

aporte que contribuye y refuerza una postura empirista respecto a los modelos y la representación científica y que toma en cuenta importantes consideraciones que van Fraassen no desarrolla las cuales analizaré en las conclusiones generales.

En el capítulo IV analizo algunas de las principales objeciones que enfrenta la noción de representación científica circunscrita al isomorfismo. Una idea fundamental en la concepción de representación científica de van Fraassen es el isomorfismo; éste le sirve para darle soporte a su empirismo estructural debido al supuesto de que la representación se basa en estructuras isomórficas. Entre los diferentes autores que han criticado la idea de representación fundamentada en isomorfismo es de particular importancia el artículo de Mauricio Suárez (2003) en donde realiza una serie de críticas en torno al isomorfismo y la similitud específicamente como criterio de representación científica. Dicha crítica la arma con base en cinco argumentos para sostener de manera convincente que el isomorfismo no es un elemento constitutivo de la representación científica. Desde mi punto de vista, la relevancia de este artículo es doble. Por una parte, analiza a la representación como el uso de *medios y recursos teóricos* que emplea un sujeto, con lo cual quiere subrayar tanto los aspectos que *materializan* a la representación como los aspectos *intencionales* al realizar una representación; y por otra parte, sus aspectos intelectuales que consisten principalmente en, a través de procesos racionales, abstraer rasgos determinantes del objeto representado. Estos rasgos abstractos son considerados los *constituyentes* de la representación, y con este análisis Suárez señala la importancia de incluir el papel del agente (sujeto) en las posturas naturalistas respecto a la representación. Un cambio importante, derivado en gran medida de las consideraciones de Suárez, es el papel del sujeto que es integrado por van Fraassen en su noción de representación científica en *Scientific Representation*, como se verá en el capítulo I. Ahora bien, un cambio igualmente importante, pero independiente de Suárez, es el que van Fraassen (2012) llevó a cabo hace un par de años en donde cambió el status epistémico de su noción de medición científica de la elaborada en (2008), aunque ha preservado su enfoque reductivamente isomórfico de la representación asociado a la medición. Dicho cambio consiste en considerar ahora a la medición y el modelaje como *criterios*, y no sólo como medios, para establecer bases empíricas en la ciencia, ya que permiten identificar y evaluar las cantidades que serán determinadas en un procedimiento de medición.¹² Dada la importancia de este cambio en el status epistémico de la medición y el modelaje lo

¹² En una reseña al *Scientific Representation*, Suárez (2011) señala que van Fraassen continúa fundamentando su noción de representación en el isomorfismo aun cuando haya integrado el papel del sujeto (agente). Sin embargo, considero que el cambio realizado por van Fraassen respecto al status epistémico de la medición y el modelaje como criterios es independiente de los argumentos de Suárez (2003, 2011).

analizaré a detalle en este capítulo. Además, este capítulo tiene la finalidad de mostrar que cuando la representación científica se formula sólo con base en criterios de similitud e isomorfismo queda una noción estrecha de representación ya que, como lo muestra Suárez, una gran variedad de representaciones científicas exitosas no son isomórficas; lo cual tiene relevancia directa con cualquier intento de formular una noción representacionista de la medición científica. Con ello quiero establecer que la noción de representación científica (y consecuentemente su correlativa idea de medición en las teorías representacionistas de ésta) es mucho más rica y variada, tanto cognitiva como metodológicamente, de la formulación que de ella hace van Fraassen, incluso en su artículo más reciente (2012).

La finalidad del capítulo V es analizar mediante estudios de caso algunos puntos sustantivos de lo que teóricamente se ha planteado en los capítulos anteriores. Tales puntos son los siguientes: 1) la gran diversidad de formas en que en ciencia se usa la noción de representación; 2) que ciertas representaciones científicas sólo se obtienen mediante complejos instrumentos sin los cuales materialmente no podríamos generar tales representaciones. Veremos que tal es el caso de la microfotografía hacia la segunda mitad del siglo XIX, mediante la cual se obtienen imágenes instantáneas y fijas más fieles que las ilustraciones hechas a mano, incluso imágenes de fenómenos no observados a simple vista; 3) en algunos casos las mediciones científicas se conforman mediante una serie de pasos concatenados o de procesos de multietapas que muestran claramente que la determinación de ciertos valores para magnitudes específicas dependen necesariamente de determinaciones previas, lo cual lo mostraré mediante el ejemplo de la medición terrestre de la velocidad de la luz de Michelson. Con este estudio de caso se quiere mostrar que uno de los rasgos de este tipo de mediciones científicas es que algunas de las etapas intermedias del proceso de medición, en donde cada una establece algún parámetro métrico, no se pueden interpretar como representacionistas; ya que cada una de tales etapas puede tener diferentes formas de establecer dichos parámetros *i.e.*, cálculos, ajustes de calibración de instrumentos, determinación por convergencia de diferentes resultados de un mismo valor para una magnitud, etc.; 4) que hay casos significativos de representación científica que se pueden plantear mediante metáforas tomadas del arte, como lo hace van Fraassen con la técnica de la perspectiva en la pintura, pero que sin embargo no se trata de representaciones isomórficas; particularmente quiero mostrar aquellas metáforas que se basan en representaciones anamórficas. El objetivo de ilustrar mediante estudios de caso estos cuatro puntos

sustantivos es mostrar cómo en diferentes contextos, en diversos grados y con diferentes finalidades, se articulan en los procesos de medición científica los diversos temas filosóficos analizados en los cuatro primeros capítulos.

CAPÍTULO I

La relación medición-representación en el empirismo estructural de van Fraassen

1. Introducción

El proyecto empirista de van Fraassen que inició con *La imagen científica* (1980) continúa 28 años después con una propuesta de empirismo estructural en la cual la medición y la experimentación desempeñan un papel relevante en la representación científica, particularmente en representar los fenómenos empíricos. La medición científica es considerada desde el punto de vista representacionalista y se integra a su interpretación semántica de las teorías en la que éstas son vistas como un conjunto o familia de modelos. En términos generales, el empirismo constructivo de *La imagen Científica* (1980) sostiene una serie de tesis: una distinción teórico-observacional (aquello que se observa a simple vista), que los fenómenos se construyen a través de la teorías científicas (no están en la naturaleza para ser descubiertos); una interpretación semántica de las teorías (las teorías son interpretadas como conjuntos de modelos); el criterio de adecuación científica que se enfoca en la creencia de que una teoría es empíricamente adecuada y no que es verdadera (dimensión pragmática en la aceptación de teorías vs. la verdad de la teorías); y el isomorfismo como criterio para establecer la adecuación empírica entre estructuras teóricas y subestructuras empíricas. Por otra parte, el empirismo estructural sostiene igualmente una serie de tesis tales como: que podemos conocer estructuras (generalmente matemáticas) de los fenómenos; la distinción observable/inobservable tiene una virtud pragmática siempre y cuando se marque una línea entre aquello que puede observarse y lo que no -van Fraassen coloca la línea en los microscopios ópticos (la observación vía microscopio electrónico no forma parte del campo observable)-; ciertos instrumentos crean nuevos fenómenos (los fenómenos son contruidos y/o creados), y el isomorfismo es sólo entre estructuras abstractas (no hay vínculo entre estructuras abstractas y entidades observables). Dos aspectos centrales del empirismo estructural de van Fraassen son, por una parte, una distinción diferente entre lo teórico y lo observacional y, por otra parte, una reformulación del isomorfismo. Van Fraassen los expresa así:

The main points of our discussion are not much affected by just where precisely the line is drawn. I draw the line this side of things only appearing in optical microscope images, but won't really mind very much if you take this option only, for example, for the electron microscope. After all, optical microscopes don't reveal all that much of the cosmos, no matter how veridical or accurate their images

are. *The empiricist point is not lost if the line is drawn in a somewhat different way from the way I draw it. The point would be lost only if no such line drawing was to be considered relevant to our understanding of science.*¹³

Respecto a su reformulación del isomorfismo dice que:

Mea culpa: in *The Scientific Image* constructive empiricism was presented in the framework of the semantic view of theories, but seemingly in the shape of the above “offhand” realist response. See for instance ch. 3 section 9, p. 64 where I define empirical adequacy using unquestioningly the idea that concrete observable entities (the appearances or phenomena) can be isomorphic to abstract ones (substructures of models).¹⁴

El empirismo estructural que van Fraassen expone en *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective* (2008) propone una visión empirista del estructuralismo en la filosofía de la ciencia. Sostiene que no es suficiente comprender las teorías y los modelos para entender la representación científica; para abarcar la representación científica y la representación teórica hay que incluir la medición y la experimentación, ya que éstos son medios para representar científicamente que dependen de la teoría. La representación científica está mediada por la medición y la experimentación, y ambas actividades científicas (prácticas científicas) son teóricamente dependientes. En otras palabras, la medición científica la cual usualmente se hace mediante instrumentos y/o experimentos media entre los datos observacionales y las teorías. Expresado en el esquema estándar que utiliza la filosofía de la ciencia podríamos decir que en el nivel inferior están los datos observacionales mientras que en el superior están las teorías, y las mediciones estarían en un nivel intermedio entre ambos extremos. El conocimiento científico generado por las mediciones científicas no consiste en solamente datos observacionales y tampoco en teorías científicas con poder explicativo, sino que está entre estos dos tipos de conocimiento. La representación científica para van Fraassen no se agota en un estudio exhaustivo del papel que desempeñan las teorías o los modelos teóricos; por ello, para él tener una comprensión más completa de la medición científica se la debe contemplar tanto en sus características instrumentales como en sus aspectos generales. La tesis que el autor defiende a lo largo de su mencionado libro es que medir, al igual que teorizar, es *representar*, ya que la medición *localiza* su objetivo en un espacio construido teóricamente.¹⁵

¹³ Bas C., Van Fraassen, *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford, Clarendon Press, 2008, p. 110.

¹⁴ *Ibidem*, p. 386.

¹⁵ Analizaremos en el capítulo III y en el capítulo V porque es insuficiente la caracterización de van Fraassen respecto a

El empirismo estructural de van Fraassen analiza la medición científica en torno a la relación que las teorías tienen con el mundo físico y/o fenómenos. Es expuesta por el autor como una actividad central junto con la experimentación al construir representaciones científicas por medio de modelos científicos.¹⁶ El proceso de medir según van Fraassen relaciona tres tipos de modelos (de datos, de superficie y el teórico) e involucra tres elementos (instrumento, agente, marco teórico). El sujeto (agente) está familiarizado con el instrumento de medición, en muchos casos diseñado/construido particularmente para medir cierta cantidad que está fundamentada en teorías científicas (marco teórico). Los modelos de datos se afinan y analizan para configurar el modelo de superficie, es decir, el que representa las estructuras del fenómeno, evento o proceso que isomórficamente encaja en el modelo teórico.

De acuerdo con el autor, los modelos científicos con frecuencia contienen muchos más elementos que no corresponden a ningún rasgo observable en el dominio; *i.e.*, el modelo no puede establecer un mapeo entre los aspectos observables y los no observables. Para su proyecto empirista es muy importante que los modelos científicos representen las estructuras de los fenómenos observables. El modelo es, -desde su perspectiva-, útil (práctica y teóricamente) para pensar los fenómenos ajustados a una estructura observable mayor. Van Fraassen quiere caracterizar la representación científica desde la medición y el modelaje para mostrar cómo son representados por la ciencia los fenómenos observables. En este intento, el autor comprende que tanto la medición como los modelos científicos tienen un carácter teórico y otro práctico, ambos dentro de un contexto histórico. La construcción de modelos científicos por medio de la medición científica depende del contexto y está dictada por la teoría de fondo que ofrece una dimensión espacial en donde las representaciones científicas se producen.

Si bien van Fraassen está consciente del valor histórico en los procesos de medición¹⁷ e intenta

estudiar a la medición científica predominantemente como producto más que como proceso. Si bien es correcto colocar a la medición científica entre los datos y las teorías, siguiendo el esquema tradicional tal como lo hace van Fraassen, ello no permite concebir en toda su complejidad la interrelación de procesos necesaria para generación de conocimiento científico a través de prácticas de medición. Más aún, veremos en los capítulos mencionados, que en varias etapas que conforman los procesos de medición la representación científica tiene papeles importantes.

¹⁶ Tradicionalmente se entiende a los modelos científicos como descripciones interpretativas de un fenómeno que facilitan el acceso al mismo. El acceso puede ser perceptual, involucrando los sentidos (generalmente la observación), y/o intelectual. Cuando el acceso no es perceptual, es por visualización. Las descripciones interpretativas pueden o no apoyarse en idealizaciones, simplificaciones o analogías a descripciones interpretativas de otros fenómenos. Los modelos pueden ser objetos, como un avión de juguete, o ser teóricos, entidades abstractas, como el modelo standard de la estructura de la materia y sus partículas fundamentales; en (Daniela, Bailer-Jones, *Scientific models in philosophy of science*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2009, pp. 1 y 2).

¹⁷ La temperatura fue un largo proceso de medición que duró aproximadamente 200 años, el cual implicó la elaboración del

ver a la medición tanto desde sus procesos internos como desde sus aspectos más teóricos, reconoce que tanto la medición científica como el modelaje científico son, en sus núcleos, principalmente abstractos y matemáticos. De ahí la relevancia para su empirismo estructuralista el intentar entender cómo la medición y el modelaje pueden establecer bases empíricas de los fenómenos observables.¹⁸

Así también, en el reconocimiento de que los modelos científicos muchas veces contienen elementos que no corresponden al dominio de los observables y que frecuentemente tanto la medición científica como el modelaje científico establecen en sus prácticas una distancia teórico/conceptual con el mundo físico observable, al expresarse en lenguaje matemático exclusivamente e intentar representar entidades no observables, van Fraassen analiza y caracteriza a la medición científica desde una visión común en la ciencia que vincula/relaciona la actividad de medir aquello que se puede observar. Esto no quiere decir que no acepte la existencia de casos de medición en donde lo que se mide no puede verse, sino sólo detectarse o deducirse matemáticamente; la aceptación de estos casos no modifica su postura en torno a la distinción teórico-observacional que se expuso al inicio.

El objetivo del presente capítulo es analizar la interpretación representacionista de la medición científica según el empirismo estructural que van Fraassen desarrolla en su reciente libro *Scientific Representation* (2008). Este trabajo de van Fraassen es uno de los intentos más elaborados que ofrece una formulación detallada de la medición científica, en su sentido de *productio*, interpretada como representación, mediante un original empleo de la técnica perspectivista en el arte como analogía representacionista. Uno de los rasgos centrales de este intento de van Fraassen es que interpreta dicho perspectivismo en sentido isomórfico, y no en sentido anamórfico. Desde mi punto de vista la analogía para que sea potencialmente fértil y de mayor amplitud debe incorporar ambos sentidos, tal como lo haré ver en el capítulo V. De ahí la importancia de entender con cierto detalle a lo largo de este primer capítulo su interpretación representacionista para mi proyecto general que en parte intenta explorar las limitaciones del perspectivismo isomórfico asociado a la interpretación representacionista de la medición científica (en su sentido de *productio*).

instrumento adecuado (termómetro), parámetros conceptuales (establecimiento de los puntos fijos) y construcción de aparatos matemáticos-teóricos (termodinámica, teorías del calor/energía) para obtener la representación científica matemática de la ecuación de la temperatura.

¹⁸ En el artículo “Modeling and Measurement: The Criterion of Empirical Grounding” (*Philosophy of Science*, vol. 79, Núm. 5, diciembre, 2012, pp. 773–784), posterior al texto *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, van Fraassen expone con más claridad (desde mi punto de vista) el objetivo central de introducir a la medición en su proyecto empirista. Este artículo se analizará en el capítulo IV.

2. Medir es representar, representación en el arte y en la ciencia

Van Fraassen identifica en la medición, por un lado, una interacción física con un instrumento de medición que involucra la experimentación y la observación en el proceso de medir, y, por el otro el producto de la medición que resulta del proceso. La actividad de medir localiza el objetivo en un determinado espacio de posibles estados. El autor considera necesario analizar por separado tanto los aspectos físicos de la medición (experimentación, observación), como los intencionales (decisiones y elecciones que se toman de acuerdo con la teoría que enmarca el objetivo a medir), para después unirlos en una visión sinóptica de la medición que relaciona la teoría con el experimento y la observación.

Su idea de la medición la ilustra con el ejemplo de la utilización de la perspectiva en la pintura; con ello pretende establecer su concepto de medición en términos de una analogía entre la representación tanto en el arte como en la ciencia. La analogía sostiene que los tratados de perspectiva permiten representar correctamente estructuras espaciales por medio de la medición; la imagen final es el resultado de una medición de ciertas cantidades métricas que se encuentran en una determinada situación pictórica.

El dibujo perspectivista, según van Fraassen, nos ofrece un ejemplo paradigmático de la medición, ya que el proceso de dibujar produce una representación del objeto al realizar una selección de sus rasgos más relevantes,¹⁹ la semejanza del dibujo con el objeto es al mismo tiempo una especie de abstracción (de los rasgos relevantes) y una muestra fehaciente para el ojo de que el objeto aparece en el dibujo. El resultado de la medición no nos muestra lo que el objeto es en sí mismo, sino cómo aparece en dicho proceso de medir. Las imágenes producto de la medición nos representan las apariencias de aquello que aparece de los fenómenos en la práctica de medir.

Para van Fraassen, la medición involucra cierto espacio determinado dentro de una dimensión matemática, y también es explícitamente perspectivista porque las mediciones siempre se realizan en torno a un marco teórico desde una visión específica que coloca -por decirlo de alguna manera- el punto de fuga de la perspectiva. Los resultados/productos de la medición se relacionan con los modelos científicos en el sentido de que las perspectivas visuales refieren al espacio físico al igual que los modelos científicos. Además, la medición ofrece cierta objetividad en el acceso a los fenómenos, por medio de la experimentación; la medición, junto con el modelaje, permite establecer bases o fundamentos empíricos al proveer las condiciones para relacionar los modelos teóricos a entidades/eventos empíricos específicos.

¹⁹ Para van Fraassen en la representación científica la selección de los rasgos está dictada por la teoría.

Un rasgo relevante en su visión de la medición es que las mediciones siempre se realizan desde ciertas concepciones previas o suposiciones; por tanto, cualquier interpretación de los resultados de medición tiene una carga teórica. Es decir, la medición siempre se realiza respecto a una teoría (al menos) específica: los objetivos/cantidades/magnitudes de la medición sólo tienen sentido o referencia dentro de una teoría específica; la medición depende de la teoría, es decir, está inscrita dentro de la teoría o teorías que menciona. Esto no quiere decir que, posteriormente, las cantidades medidas no puedan relacionarse con otras teorías afines a la que originó la búsqueda por obtener la medida de cierta cantidad.

La medición implica tanto una interacción física como una información significativa; por ello van Fraassen sostiene la siguiente tesis: “measurement falls squarely under the heading of representation, and measurement outcomes are at certain stage to be conceived of as trading on selective resemblances in just the way that perspectival picturing does”.²⁰

En torno a la medición en la ciencia, van Fraassen afirma que ésta es una operación para obtener cierta información que involucra una interacción física entre un “aparato” y un “objeto”; a esta interacción la denomina el *correlato físico de la medición*. Tanto “aparato” como “objeto” van Fraassen los coloca entre comillas porque a los aparatos los está considerando como creadores de fenómenos y al objeto no lo está considerando en sí, sino únicamente como aparece. Si bien van Fraassen está concentrado en una idea de la medición análoga a la acción de representar, a lo largo de su exposición también identifica otras virtudes de la medición, como: informar, asignar un número, calcular y como operación.

This distinction, between the measurement and the physical interaction by whose means it is accomplished, comes into force when we ask just what the theory, speaking in its own terms, must provide by way of a representation of the measuring process. If that interaction is in the theory's domain, the theoretical description will be of this interaction in the same terms as any other physical interaction, and involve no terms that signify anything intensional or intentional.²¹

La cita anterior quiere dejar en claro que el correlato físico de la medición -la relación entre el aparato y el objetivo (target) a medir- sólo tiene sentido cuando la teoría provee una vía de representación del proceso de medición. Si el “aparato” y el “objeto” están dentro del dominio de la teoría, la interacción

²⁰ *Ibidem*, p. 91.

²¹ *Ibidem*, p. 143.

entre ambos será como cualquier tipo de interacción física, sin involucrar otros términos, ya sea intencionalmente (la intención del sujeto) o intensionalmente (especificación de las propiedades del término para que pertenezca a un conjunto bien definido). La teoría precisa en sus propios términos la manera de representar el proceso de medición. Es decir, la distinción entre la medición y la interacción física que establece el correlato físico de la medición no está dada por la significación de términos intensionales o intencionales.

Van Fraassen expone que no se puede distinguir que es la medición si atendemos únicamente al correlato físico de la medición. El papel representacional de la medición se muestra sólo si se pone atención a cómo sus resultados son una representación de lo que es medido. Los resultados de la medición son públicos y tenemos acceso a ellos, esto es crucial para el requerimiento metodológico de la reproductibilidad en la experimentación científica. Para poder entender la medición se necesita mirar dentro del proceso histórico en el cual los procedimientos de medición y la teoría evolucionan juntos en una completa y entrelazada forma.

Responder cómo la interacción de la medición se representa en la teoría se vuelve pertinente para van Fraassen porque la respuesta dependerá de las distintas interacciones que se realicen y de cuál teoría se trate. Van Fraassen establece este criterio independientemente del caso o la teoría que se trate: “the theoretical characterization of the measurement situations is required to be coherent with the claims about existence of measurement outcomes, their relation to what is measured, and their function as sources of information”.²²

Para van Fraassen el resultado de una medición es algo físico: un evento, el estado final de un aparato o un objeto (fotografía, gráfica, una lista de números) generado por un proceso de medición. Sin embargo, la medición también es un acopio de información, de ahí que sus resultados tengan significado²³ en el sentido de que ofrecen contenido informativo (no en el sentido de teorías del significado en el lenguaje). La información que se obtiene es interpretada mediante los resultados de medición (estado físico o evento); esta interpretación obviamente se realiza desde cierto marco teórico. La medición es un correlato físico (entre un “aparato” y un “objeto”) y una colección de información; medir es representar e informar.

Este filósofo de la ciencia rechaza un concepto de medición que la identifica con una “mera”

²² *Ibidem*, p. 145.

²³ Siguiendo la argumentación de van Fraassen, el significado estaría dado por la interacción entre el aparato y el objeto en cierta teoría específica.

asignación de números; pretende extender la idea de la medición para entenderla como una interacción y no como una simple asignación numérica, pero también asume que en esta interacción la medición arroja números, la cuestión es que estos números son producto de dicha interacción y sólo tienen sentido dentro de la misma. Para él, considerar a la medición como una mera asignación de números proviene de una visión miope tanto de las matemáticas como de la medición. Al respecto, para el empirismo de van Fraassen resulta un problema reconciliar el papel de las matemáticas en la ciencia con su proyecto, dado que los objetos matemáticos no son objetos, procesos o eventos observables. Como se dijo antes, la medición interactúa entre el sujeto, el instrumento y la teoría; las matemáticas preservan la estructura de los fenómenos porque están entrelazadas en una elaborada relación con las apariencias de los fenómenos representados por medio de los resultados/productos finales de las mediciones. Si bien acepta que algunos datos que reportan ciertas mediciones son numéricos, no puede concebir a la medición como un proceso que exclusivamente arroja resultados numéricos; no hay que perder de vista que nuestro autor está considerando los productos finales de la medición y en dichos productos se involucran más acciones y procesos que una mera asignación de números.

Van Fraassen expone las distinciones de la medición hechas por Stevens: **nominal** (asignación numeral de etiquetas, sin implicar ninguna estructura algebraica); **ordinal** (que asigna un orden jerárquico); **intervalo** (aquí se jerarquiza en una escala donde sólo los intervalos entre elementos son numéricamente comparables) y **razón** (jerarquiza en cierta escala donde existe también un mínimo y la jerarquización puede representarse por números no negativos con las *razones* entre esos números, que reflejan a su vez una relación física). Estas distinciones las utiliza para enfatizar que en su idea de la medición los dos aspectos más relevantes son: la intención de quien mide y las relaciones a las que se accede, ya sea de manera instrumental o práctica para lograr el objetivo de medir algo. En estas relaciones instrumentales o prácticas se establecen regularidades empíricas²⁴ determinadas por el agente y no por las características matemáticas. Ambos aspectos están fuera del dominio de una teoría matemática de la medición; quieren remarcar la importancia del agente en los procesos de medición: éste es quien establece qué rasgos se preservarán y cuáles no en las transformaciones admitidas a la escala; así también, es el agente el que accede mediante instrumentos o prácticas o procedimientos y/u operaciones en la acción de medir. Para van Fraassen la medición: “is an operation that locates an item

²⁴ Desde el Empirismo Constructivo de 1980, van Fraassen no se compromete ontológicamente con las Leyes Científicas, de ahí que considere que por medio de la medición se puedan establecer regularidades empíricas desde un enfoque pragmático del agente.

(already classified as in the domain of a given theory) in a logical space (provided by the theory to represent a range of possible states or characteristics of such items)”²⁵

Tanto la colección de datos, como el análisis estadístico y la suma sistemática (que finalmente construye una gráfica) son mediciones para van Fraassen; aunque lo más importante es el producto final de la medición: la representación. La representación científica que resulta de la operación de medir es lo que tiene una forma científicamente significativa. Sean éstas gráficas, mapas, etc., la relevancia radica en que, tanto en los datos primitivos como en los resultados complejos y completos de la medición, el resultado debe verse de la siguiente forma: ésta es la forma como el objeto aparece en el sistema de medición; en ambos casos el objeto medido se localiza en un espacio lógico,²⁶ característicamente asociado con el tipo de operación involucrada.

El espacio lógico (espacio de posibilidades de los estados de las cosas) es el lugar donde puede darse la medición, al localizar ya sea un ítem o una escala. La medición está dada dentro de este espacio de posibilidades y las afirmaciones que puedan hacerse respecto a los objetos y sus valores sólo tienen sentido en el espacio lógico donde se les asignó dicha localización. Es un espacio abstracto provisto por una teoría para representar el rango de los posibles estados o características de los objetos descritos por la teoría. Provee de estructura geométrica o topológica; nos habla acerca de la relación de proximidad o distancia entre los estados o características permitidas por la teoría. El uso de la medición sólo tiene sentido en el contexto de la teoría en cuestión, pues ésta provee el marco general para clasificar los objetos o *items* que deben de localizarse en ese espacio lógico. Van Fraassen utiliza la noción de espacio lógico para afirmar que las mediciones siempre se realizan dentro y desde una teoría; este espacio plantea los límites de lo lógicamente posible (lo que es el caso), en cada medición que se realiza.

Cuando se trata de localizar una escala, van Fraassen sostiene que la localización está en una región de un espacio mayor porque una escala no se encuentra en un punto fijo (como cuando se localiza un *ítem* que sí está en un punto fijo y no en una zona en donde habría varios intervalos, grados,

²⁵ *Ibidem*, p. 164.

²⁶ La noción de espacio lógico la retoma de Wittgenstein en el *Tractatus logico-philosophicus*:

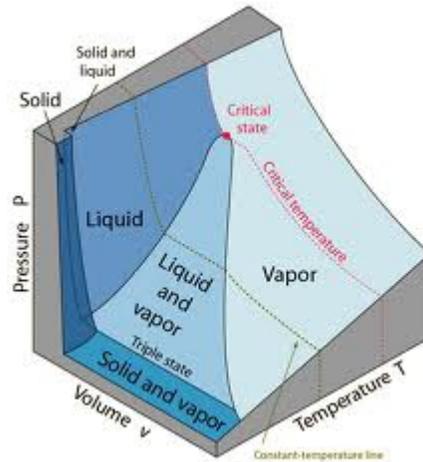
1.13 Los hechos en el espacio lógico son el mundo

2.013 Cualquier cosa está, por así decirlo, en un espacio de posibles estados de cosas. Puedo representarme vacío este espacio, pero no la cosa sin el espacio.

2.0131 El objeto espacial debe encontrarse en el espacio infinito. (El punto espacial es un lugar argumental.) La mancha en el campo visual no tiene, ciertamente, por qué ser roja, pero ha de tener un color: tiene, por así decirlo, el espacio cromático en torno suyo. El tono ha de tener *una* altura, el objeto del sentido *una* dureza, etc.

2.202 La figura contiene la posibilidad del estado de cosas que representa.

estados); en dicha región la medición asigna intervalos dentro del espacio mayor que es la escala y no precisamente números. Por ejemplo, una medición de la presión localiza un gas en cierta región dentro del espacio mayor PVT (Presión Volumen y Temperatura); los diagramas de fase PVT representan tridimensionalmente en esta región: la presión, el volumen específico y la temperatura de los estados posibles de un compuesto químico.



Ejemplo de diagrama PVT del agua

3. Representación y modelos

Para argumentar que la medición científica es más que una mera asignación de números, van Fraassen afirma que la ciencia representa fenómenos empíricos ajustados o integrados en modelos científicos. Por ello desarrolla y caracteriza tres tipos de modelos (teórico, de datos y de superficie), para mostrar cómo se construye la representación científica. De Patrick Suppes toma la construcción de modelos, pues los modelos de datos construidos de manera experimental le ofrecen al científico teórico estructuras construidas cuidadosamente de la selección de datos.

Patrick Suppes pointed out that through construction of data models the experimentalist is in general bringing the theoretician small relational structures, constructed carefully from selected data. In the specific examples that Suppes mentions the little structures are algebras; hence he calls them *empirical algebras*. Literature on the foundations of quantum mechanics typically points to such small structures that represent data, but they are not always algebras. They are more generally partial algebras, or just partially ordered sets (“posets”) with some relations and/or operations.²⁷

²⁷ Bas C., Van Fraassen, *op. cit.*, 2008, p. 172.

Van Fraassen introduce tres fases de la representación (teoría-fenómeno-apariencias) para plantear los tres niveles de representación en las ciencias físicas. En la *teoría* se postula una realidad teóricamente (micro estructuras, fuerzas, campos, estructuras espacio-temporales globales); en el *fenómeno* se establece aquello que es fenómeno-observable²⁸ (macro objetos, movimiento, cuerpos visibles y tangibles), y en las *apariencias* se postula lo que aparece del fenómeno desde la medición (resultados/productos de la medición, “cómo las cosas lucen” en el contexto observacional). Van Fraassen quiere remarcar que no es lo mismo que las teorías salven los fenómenos a que las teorías estén en concordancia con los resultados experimentales y observacionales; cuando las teorías están en concordancia, representan las apariencias de los fenómenos tal y como aparecen en los resultados experimentales-observacionales. Por medio de la medición científica la ciencia representa cómo *lucen* los fenómenos, no cómo *son*: la medición representa científicamente las apariencias.

Para van Fraassen el fenómeno es aquello que aparece ante nuestros sentidos y por tanto es observable. La medición científica localiza y representa los fenómenos observables. Aunque esté consciente de muchos casos en la ciencia donde la medición se realiza en fenómenos/entidades/cantidades no observables (fenómenos detectados, predichos y/o deducidos); su idea de la medición científica se centra medir lo observable (Véase van Fraassen, *op. cit.*, 2008).

Como ya se mencionó al inicio de este capítulo, un modelo científico frecuentemente contiene muchos más elementos que no corresponden a ningún rasgo observable en el dominio. La estructura del modelo revela la estructura de los fenómenos observables, mientras que el resto del modelo sólo lo apoya de forma indirecta. El modelo permite pensar un ajuste de los fenómenos a estructuras observables mayores (estructuras espacio-temporales globales).

Van Fraassen caracteriza al modelo de datos básicamente como el sumario de los datos; éstos con frecuencia se expresan en estructuras matemáticas abstractas: es un registro de los resultados de medición. Este modelo se construye a partir de la selección de datos de acuerdo con determinados criterios, es decir, es construido por la colección o sumario de datos. Por medio de la construcción de dicho modelo el científico experimental le ofrece al científico teórico pequeñas estructuras relacionales construidas de manera cuidadosa por datos seleccionados. En esta fase los resultados de los

²⁸ Para van Fraassen el fenómeno es aquello que aparece a nuestros sentidos y por tanto es observable. La medición científica localiza y representa los fenómenos observables. Aunque van Fraassen esté consciente de muchos casos en la ciencia donde la medición se realiza en fenómenos/entidades/cantidades no observables (fenómenos que son detectados, predichos y/o deducidos), su idea de la medición científica se centra en *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective* en la medición de lo observable.

procedimientos de medición son registrados en los modelos de datos, los se expresan en estructuras matemáticas y abstractas. El fenómeno observable aparece por primera vez en los resultados específicos de medición o en un gran conjunto de mediciones; el modelo de datos se construye con estos resultados individuales obtenidos por la medición. La construcción de los modelos de datos es la descripción selectiva y relevante del fenómeno por un agente que conoce la teoría requerida, lo que posteriormente posibilitará la representación del fenómeno, proceso o evento. Un modelo de datos particular es relevante porque fue construido bajo las bases de los resultados reunidos y seleccionados por un criterio específico de relevancia, en ciertas ocasiones, en un entorno experimental u observacional diseñado para ese propósito. Los modelos de datos tampoco son dictados por el fenómeno, pues éste no determina cuáles estructuras son los modelos de datos para él. Eso sólo depende de nuestra atención selectiva al fenómeno, así como de nuestras decisiones respecto a aquellos aspectos que desean representarse en determinadas formas en cierta extensión.

Tradicionalmente se interpreta a este tipo de modelos²⁹ como aquellos que organizan los datos brutos en una forma standard; esto permite comparar los datos producidos de forma experimental con las predicciones de los modelos teóricos (por ejemplo, cómo analizar los valores individuales de medición de la temperatura del plomo en estadística). Los modelos de datos sólo pueden usarse después de aplicarles alguna técnica de análisis y no tienen nada que ver con cualquier tipo de afirmación teórica que pretenda modelar un fenómeno determinado.

No es la teoría la que confronta el fenómeno observable (cosas, eventos y procesos que están afuera), sino sólo ciertas representaciones de éstos. La adecuación empírica no es adecuación al fenómeno puro y simple, sino al fenómeno como se describe. Según van Fraassen no hay relación/vínculo (adecuación empírica) entre el fenómeno y la estructura de datos, sólo entre modelos de datos y modelos de superficie porque ambos son entidades abstractas.³⁰

Los modelos de superficie integran al modelo de datos más observaciones recolectadas, las cuales fueron acumuladas con labor, como el caso de las astronómicas. El modelo de superficie

²⁹ Daniela, Bailer-Jones, *Scientific models in philosophy of science*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2009, p. 171.

³⁰ La tradición en torno a la interpretación de los modelos (datos, teórico) y sus relaciones en términos generales establece este tipo de vínculos/relaciones entre los modelos:

“Raw data cannot serve to confirm a theoretical model about a phenomenon, but have to undergo procedures of data analysis and be put into the form of a data model to be usable for an empirical test. Thus empirical confirmation takes place between data model and theoretical model, not between data and phenomenon, and also not between data and theoretical model. This means that the links between data and data model and theoretical model and phenomenon need to be considered in addition.” Daniela, Bailer-Jones, *op. cit.*, 2009, p. 173.

extrapola los patrones del modelo de datos en algo más fino de lo que los aparatos pueden registrar; éste se construye con los datos previamente obtenidos, organizados y analizados en el modelo de datos, para combinarlos con una colección de observaciones registradas; la estructura de la superficie embona (se ajusta, se adecua) en un modelo teórico³¹ cuya estructura es matemática. En el modelo de superficie hay un isomorfismo³² que relaciona dos entidades abstractas: una entidad empírica (estructura de una teoría dada que describe los objetos observables relevantes de los objetos, procesos o eventos) y el modelo de superficie (la estructura matemática que representa los datos -las apariencias registradas por la medición- que han sido obtenidas de manera empírica).

Para explicar la complejidad del trayecto entre los datos crudos y la representación gráfica, van Fraassen se apoya en el trabajo de Ronald Giere en torno a las observaciones astronómicas. Los datos obtenidos por óptica, radio y detección de rayos gamma en los observatorios astronómicos actuales son combinados y transformados en un proceso que arroja representaciones visuales, colores de los cometas, estrellas, nebulosas y galaxias. Giere examina cómo son procesados los datos astronómicos, reunidos en fotos en blanco y negro, para producir imágenes en color de una nebulosa, a través de un proceso inventado originalmente por James Clerk Maxwell³³. Cada foto captura un solo aspecto, pero con el filtraje se obtiene la reproducción del color en las imágenes que son el producto final. Como Giere lo expresa:

Las imágenes presentadas[...] son conclusiones. Estas imágenes presentan un dibujo continuo, o al menos con un grano bien definido. Los datos actuales no pueden tener ese grano tan bien definido. Los datos son hechos por eventos individuales grabados en varios detectores en diferentes momentos y

³¹ Van Fraassen no define al modelo teórico. Tradicionalmente se define al modelo teórico como aquel que pretende capturar el fenómeno al proveer una descripción completa del mismo, la cual incluye los factores que resaltan y resultan relevantes para constituir dicho fenómeno. Por ejemplo, mapas que muestran la distribución de un objeto pueden usarse para hacer tests acerca de un fenómeno expresado en un modelo teórico del fenómeno, como cuando se examina si las fuentes dobles de radio tienen uno o dos reactores (jets) o si los lóbulos (lobes) de una fuente de radio contienen más plasma viejo que los hotspots en las imágenes obtenidas de las galaxias radiales. Daniela, Bailer-Jones, *op. cit.*, 2009, pp. 172 y 173.

³² El modelo de superficie pretende resolver los problemas que le surgieron a van Fraassen respecto del insomorfismo en *La imagen científica*, al pretender establecer un isomorfismo entre una entidad observable concreta y una entidad abstracta matemática.

³³ En 1850, Maxwell inventó un proceso que inicia con placas fotográficas de alta sensibilidad en blanco y negro, con una medida de 10 pulgadas. Por cada objeto que sería fotografiado, Maxwell hacía tres exposiciones separadas en tres placas diferentes. En una utilizaba el filtro rojo que dejaba afuera la parte verde y azul de la luz en el espectro, y sólo permitía el paso de dejando la roja. El negativo en blanco y negro era expuesto a la parte roja del espectro de luz emitido por la fuente. De igual forma, para la segunda exposición utilizaba el filtro verde y para la tercera el azul. El tiempo de exposición era de alrededor de 25 minutos por cada placa. En la década de 1870, este método fue perfeccionado por David Malin, un fotógrafo que se volvió astrónomo en el Anglo-Australian Observatory en el sur de Gales. Ronald, Giere, *Scientific Perspectivism*, Chicago, Chicago University Press, 2006, pp. 42 y 43.

procesados por varios medios físicos y computacionales. Las imágenes se construyen usando esos datos, pero van más allá de los datos.³⁴

Los modelos de superficie le sirven a van Fraassen para apoyar su idea de medición científica. De igual manera, los modelos teóricos sirven, en primer lugar para ajustar³⁵ tanto los fenómenos observados como los posibles observables. A partir de que la descripción de estos fenómenos es hecha en la práctica por medio de modelos, -sean éstos “de datos” o “de superficie”, el requerimiento para éstos se ajusten a los fenómenos es el siguiente: los modelos de datos o superficies³⁶ deben idealmente ser ajustados/incrustados de manera isomórfica en los modelos teóricos. Éste es el criterio que van Fraassen utiliza para determinar la representación de un fenómeno.

El modelo de superficie integra las condiciones observables en términos de las mediciones que se realizan y en los posibles resultados que se obtendrán después de realizar las mediciones. Para van Fraassen el modelo teórico puede especificarse en un conjunto o familia de magnitudes físicas (que para el filósofo son observables), las cuales están en un rango de valores posibles (que tienen la posibilidad de tener un valor); un conjunto de estados de las magnitudes y una función que relaciona ambos conjuntos.

De acuerdo con van Fraassen, el modelo de superficie tiene la particularidad de ofrecer una representación construida en el laboratorio o en el observatorio. Esto no quiere decir que el científico teórico no tenga una visión de la misma situación al especificar cómo puede representarse por medio de un modelo teórico.

4. Visión perspectivista de la medición

En la compleja idea de medición de van Fraassen, los criterios para construir los modelos de superficie han cambiado históricamente, además de los criterios para estructurar el espacio lógico que una determinada teoría ofrece para elaborar sus posibles modelos. El concepto central de la medición es ubicar o localizar algo dentro del espacio lógico; es el espacio en donde todas las acciones de medición pueden desplegarse, aunque para van Fraassen no cualquier acto de localización (incluso el localizar

³⁴ Ronald, Giere, *Scientific Perspectivism*, Chicago, Chicago University Press, 2006, p. 48, citado en Bas C., Van Fraassen, *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford, Clarendon Press, 2008, p. 168.

³⁵ Van Fraassen define ajustar como embedding (en inglés); la descripción completa del término está en la cita número 30 del presente capítulo.

³⁶ Como ya se mencionó el isomorfismo es entre subestructuras empíricas y el modelo de superficie, aunque el modelo de datos se presupone integrado al modelo de superficie.

algo de manera correcta en un espacio lógico) es la expresión de un resultado actual de medición. Por ejemplo, decir que nuestro sistema solar es un sistema mecánico newtoniano de diez cuerpos, implica localizar nuestra tierra, el sol visible y los planetas en un *espacio lógico*: el espacio de los modelos newtonianos, el cual es el *espacio lógico* de la física newtoniana. Esta afirmación no establece un resultado de medición, pero no deja de ser significativa porque no está desconectada con lo que la medición nos puede mostrar: que en efecto el espacio físico newtoniano se comporta de tal manera y que ello está confirmado matemáticamente por mediciones.

Ante la afirmación de que nuestro sistema solar es un sistema mecánico de diez cuerpos, van Fraassen se pregunta si tal aserción puede considerarse como la expresión de un posible resultado de medición, y responde a ella afirmativamente. El ejemplo le sirve para reforzar la idea de que las mediciones siempre están inscritas dentro de un espacio lógico, en este caso el newtoniano. Es así como una gran familia de mediciones (solas y complejas) pueden verse dentro de cierto contexto teórico. En este resultado complejo de mediciones, nuestro sol y planetas “lucen como” un sistema newtoniano.

Sin embargo, en las ciencias empíricas resulta un problema general que las condiciones de aplicación de sus conceptos estén conectadas de manera cercana con las condiciones de lo realizable experimentalmente, además, el límite de qué tan amplia puede ser esta “cercanía” no está establecido de forma rígida.

Van Fraassen aclara que no quiere extender el término *perspectiva* más allá de su significado estrecho y literal; además, considera que en esta discusión sobre la medición el término parece de manera suficiente apta. La aptitud depende del contexto y, en específico, de lo que las teorías consideran como aceptado en dicho contexto; la perspectiva dependerá de la teoría aceptada en cierto momento y su contexto. Con esta afirmación, se puede observar cierta inclinación pragmatista en torno a la medición la cual privilegia su uso de acuerdo con el contexto.

La perspectiva establece el espacio donde se inscriben/localizan las mediciones; este perspectivismo le permite a una teoría, por ejemplo, equiparar la noción de *temperatura* con el significado de *energía cinética*. En ese caso podría decirse que hubo un cambio de perspectiva *relativo a la teoría*. Cuando hay un cambio de perspectiva se establece de manera tácita un contexto donde la teoría ha sido aceptada por completo.

Respecto al cambio de perspectiva y aquello relativo a una teoría, van Fraassen utiliza ejemplos en la temperatura; estos le sirven para afirmar que debe reconocerse que no existe un cambio de

perspectiva relativo a la teoría pertinente cuando se trata de elegir entre una familia de espacios relacionados por un grupo de transformaciones, y una familia de coordinaciones con un solo espacio. Sin embargo, si se piensa en términos de transformaciones, tampoco le parece apto hablar de diferencias de perspectiva.

El grupo de transformaciones al que se refiere tiene que ver con las escalas. Es decir, las transformaciones que conectan a todos los miembros de una familia admisible de escalas, donde los parámetros en los cuales el valor registrado en un resultado de medición es el mismo -bajo variaciones admitidas en la implementación de la medición-, estas transformaciones no implican un cambio de perspectiva porque son relativas a la misma teoría y se relacionan con la familia de espacios, que en este caso son las escalas admitidas. El autor ejemplifica lo anterior con el caso de dos termómetros que asignan la localización en dos diferentes escalas, puesto podría interpretarse como la ubicación de dos espacios lógicos diferentes. En este caso existe una transformación que de manera sistemática conecta las lecturas de un termómetro con las del otro; cuando se tiene el conocimiento de tal transformación de inmediato se tiene un concepto del espacio lógico en el que las dos escalas son, en efecto, dos sistemas coordinados.³⁷

Van Fraassen acepta que existen resultados de medición que no pueden verse de manera perspectivista. Generalmente estos resultados vienen después de *outputs* instrumentales que han sido procesados con operaciones hechas en papel y lápiz, con un resultado final deducido en relación o relativo a una teoría. El punto importante es que la medición y su resultado pueden ser complejos e incluyen cálculos e *inputs* de un modelo o una teoría, y tal procedimiento aún se ajusta con la idea general de que es una operación realizada para crear una representación del objeto: una operación que localiza el objeto en un cierto espacio lógico. Van Fraassen considera que con su noción de *localización* no se requiere tener un *a priori*. Para ver cómo la actividad de medir cae bajo el slogan: *Medir es localizar* y se entrecruza con el hecho de que *medir es perspectivista*, el autor analiza algunos ejemplos de cómo resultados “simples” de medición se combinan de tal forma que arrojan un resultado de una creada medición “compleja”.

The two poles of scientific understanding, for the empiricist, are the observable phenomena on the one hand and the theoretical models on the other. The former are the target of scientific representation and the latter its vehicle. But those theoretical models are abstract structures, even in the case of the

³⁷ *Encyclopedia of Philosophy*, 2a edición, Detroit, MacMillan Reference, 2006.

practical sciences such as materials science, geology, and biology —let alone in the advanced forms of physics. All abstract structures are mathematical structures, in the contemporary sense of “mathematical”, which is not restricted to the traditional number-oriented forms.³⁸

Según van Fraassen:

1. La ciencia representa los fenómenos empíricos al ajustarlos en ciertas estructuras abstractas (modelos teóricos).
2. Estas estructuras abstractas sólo pueden ser descritas por el isomorfismo estructural.

The structuralism in “empiricist structuralism” refers solely to the thesis that all scientific representation is at heart mathematical. Empiricist structuralism is a view not of what nature is like but of what science is.³⁹

[...]

Embedding, that means displaying an isomorphism to selected parts of those models. Here is the argument to present the first challenge. For a phenomenon to be embeddable in a model, that means that it is isomorphic to a part of that model. So the two, the phenomenon and the relevant model part must have the same structure. Therefore, the phenomenon must have a structure, and this shared structure is obviously not itself a physical, concrete individual—so what is implied here is something of the order of realism about universals.⁴⁰

La medición científica es, para van Fraassen, un vehículo que preserva ciertas estructuras de los fenómenos; éstas de manera general se expresan en ecuaciones matemáticas, por lo que la representación científica es matemática en su núcleo. El empirismo estructural limita el conocimiento a ciertas estructuras matemáticas de los fenómenos, eventos o procesos; la medición científica permite representar matemáticamente las estructuras de las apariencias de los fenómenos.

En el siguiente capítulo se establecen las implicaciones, alcances y límites que tiene la visión representacionalista de la medición, considerando algunos de sus antecedentes y la discusión que Joel Michell sostiene al respecto en torno al enfoque teórico dominante de la medición.

³⁸ Bas C., Van Fraassen, *op.cit.*, 2008, p. 238.

³⁹ *Ídem.*

⁴⁰ *Ibidem*, p. 247.

CAPÍTULO II

Versiones de la teoría representacionalista de la medición y sus supuestos sentidos de realismo

1. Introducción

Según una tradición dominante en filosofía de la ciencia, una de las principales funciones de la medición en el sentido de *producto* es la representación. El carácter representacionalista de la medición está fuertemente ligado a las matemáticas y a los conceptos matemáticos aplicados en la operación de medir. Las representaciones del mundo y los fenómenos son construidos por medio del lenguaje matemático; obtener una representación del fenómeno es uno de los principales objetivos de la ciencia, y, en dicho propósito, las matemáticas desempeñan un papel relevante. No obstante, las matemáticas asociadas a las mediciones científicas además de representar y calcular, cumplen otras funciones igualmente importantes como describir, explicar, deducir, examinar las implicaciones de las hipótesis y especular de manera cuantitativa en torno a propiedades antes de que los procedimientos de medición hayan sido especificados. A este respecto Roche afirma:

Mathematics found many roles in exact science, besides representation and calculation of the phenomena. It was used in the statement and representation of laws, [...] in the description of bodies and systems, in prediction, in explanation, in the deduction of new insights from known premises, in proof, and in the logical integration of a theory. Mathematics also introduced idealization and abstraction, and made a kind of rigorous reasoning possible which a complete faithfulness to nature might not have allowed. It made it possible for calculations and arguments to push beyond the realm of the visible or imaginable, tested the implications of hypotheses, and allowed certain properties, such as degree of hotness, to be speculatively quantified and investigated long before their procedures of measurement had been specified.⁴¹

Veremos al final de la presente investigación que un estudio filosófico adecuado de la medición científica debería incorporar de alguna manera todas esas funciones que la matemática tiene en la generación de conocimiento métrico, porque restringirse principalmente a la representación empobrece mucho nuestro entendimiento de dicho conocimiento. Sin embargo, dada la importancia de una tradición dominante que ha estudiado a la medición científica, sólo en su sentido de producto, haciendo

⁴¹ John J., Roche, *The Mathematics of Measurement, A critical history*, London, The Athlone Press, Springer, 1998, p. 32.

énfasis en la representación es que en este capítulo nos centraremos en analizar sus principales puntos. Uno de los componentes centrales de dicha tradición es que parte de un cierto realismo ingenuo el cual acepta que el mundo es de la forma en la que corresponden las representaciones que se han construido con los datos precisos y los cálculos matemáticos obtenidos por la medición. En este contexto, el éxito en la ciencia ha sido valorado en torno a la exactitud de las representaciones que del mundo físico ha realizado; la exactitud se puede entender como la correspondencia entre las representaciones y ciertas regiones del mundo físico. Esta manera de considerar el éxito en la ciencia y la exactitud de las representaciones científicas es una posición realista científica ingenua.

Una posición en torno a las matemáticas que apoya lo anterior y además sostiene que las matemáticas contribuyen al éxito de las representaciones científicas defiende lo siguiente:

[...] mathematics contributes to accurate scientific representations because the physical world is itself mathematical. An inventory of the genuine constituents of the physical world reveals that these constituents include mathematical entities. So it is no surprise that our best scientific representations include a lot of mathematics.⁴²

El presente capítulo tiene por objetivo ofrecer un análisis y una presentación sintética de los principales autores de la mencionada tradición, enfatizando los diferentes sentidos de realismo que suponen distintas teorías representacionistas de la medición, deteniéndonos particularmente en las definiciones de *medición* que han formulado algunos de los principales defensores de la visión representacionista de la medición científica. Debemos mencionar que la propuesta de van Fraassen analizada en el capítulo I comparte algunas de las tesis fundamentales de la tradición representacionista de la medición, específicamente respecto a Patrick Suppes. Hay dos aspectos relevantes para mi investigación derivados de este objetivo: el primero es mostrar que si bien la medición científica como *producto* es adecuadamente concebida como representación en la mayoría de los casos, dicha interpretación representacionista de la medición no es capaz de explicar también a la medición como *proceso*, tal como lo veremos en el capítulo V. El segundo, radica en sólo mostrar que existe una peculiar tensión entre los conocidos supuestos realistas que esta tradición ha mantenido y el antirrealismo del empirismo de van Fraassen. La tensión radica en que particularmente la medición científica es determinante en varios sentidos para las teorías científicas y no sólo para las leyes de la naturaleza, lo cual le lleva a van Fraassen a una posición en donde parece como si defendiera su

⁴² Christopher, Pincock, *Mathematics and Scientific Representation*, Oxford, Oxford University Press, 2012, p. 4.

antirrealismo (asociado a las teorías científicas) utilizando recursos *realistas* de la tradición representacionalista de la medición. Quiero subrayar que solamente hago notar esta tensión sin analizarla en detalle ni explorar sus posibles consecuencias para los fundamentos del empirismo estructural, ya que ello me desviaría de mi objetivo principal.

2. Versiones de la teoría representacionalista de la medición

En términos generales, la teoría representacionalista de la medición sostiene que la medición es una representación numérica que asigna números a cantidades; desde esta visión, es un mapeo entre elementos (cosas, objetos) de una clase a elementos (cosas, objetos) de otra. El enfoque representacionalista interpreta a la medición como la representación numérica de las propiedades medidas. Entre aquellos que adoptaron este enfoque destacan: Russell (1903), Campbell (1920), Nagel (1932), Stevens (1946, 1951), Suppes y Zinnes (1963) y Krantz *et al.* (1971).

Bertrand Russell (1872-1970) define a la *medición* de la siguiente forma:

Measurement of magnitudes is, in its most general sense, any method by which a unique and reciprocal correspondence is established between all or some of the magnitudes of a kind and all or some of the numbers, integral, rational, or real, as the case may be. (It might be thought that complex numbers ought to be included; but what can only be measured by complex numbers is in fact always an aggregate of magnitudes of different kinds, not a single magnitude.) In this general sense, measurement demands some one-one relation between the numbers and magnitudes in question a relation which may be direct or indirect, important or trivial, according to circumstances. Measurement in this sense can be applied to very many classes of magnitudes; to two great classes, distances and divisibilities [...].⁴³

Así, Russell sostiene una concepción logicista en la que todos los conceptos de las matemáticas -incluido el de número-, pueden ser definidos completamente en términos de conceptos puramente lógicos. La magnitud es el resultado de aplicar un número a una cantidad, y a la operación de dicha aplicación la llama *medición numérica*. Por ello, existe una correspondencia uno a uno (o isomorfismo) entre las magnitudes y los números; las medidas de las magnitudes resultan de localizar dicha correspondencia.

La teoría representacionalista de Russell puede sintetizarse de la siguiente manera:

1. Un atributo cuantitativo es una clase de todas las propiedades del mismo tipo y ordenadas de

⁴³ B., Russell, *Principles of Mathematics*, Londres, Bradford and Dickens, 1903, p. 176.

acuerdo con la magnitud.

2. La medición es una correspondencia uno a uno entre atributos cuantitativos y números de un determinado tipo (integral, racional o real).

La noción de *magnitud* en Russell tiene un compromiso realista con la cantidad, que es una propiedad física a la cual se le asigna un número; en esta asignación se asume que la magnitud -que sólo es un número- tiene atributos físicos.

Otra versión de la teoría representacionalista de la medición es la de Norman Robert Campbell (1880-1949). Esta surge a partir de su experiencia en la física, cuando trabajó en el Laboratorio Cavendish intentando establecer los estándares para la medición de la intensidad de la luz. La teoría de Campbell establece el campo del mapeo representacionalista en dos clases de atributos: 1. los que poseen una estructura aditiva (cantidades, como las llama él), además de un orden de la magnitud, y 2. los que son medibles (cualidades), sólo porque están implicados en leyes de la naturaleza. El rango del mapeo se asigna a numerales y no a números. Campbell define la *medición* como la asignación de numerales para representar propiedades en concordancia con las leyes científicas. Las leyes científicas afirman relaciones entre los juicios del mundo material que son establecidas por experimentación u observación.

La medición es la asignación de numerales para representar propiedades; este proceso sólo se puede aplicar a algunas propiedades, por ejemplo, el peso pero no el color (imposible denotar el color de un objeto por medio de un número). Esto se debe a la relación entre los numerales y las propiedades medibles; todas las propiedades medibles deben ser capaces de colocarse en un orden natural por medio de las leyes físicas que afirman verdades sobre las mismas. Este autor sostiene que la física se distingue de otras ciencias por su papel en la medición; las otras ciencias realizan sus mediciones con dependencia directa o indirecta de los resultados de medición obtenidos en la física. Todas las mediciones fundamentales pertenecen a la física, la cual puede ser descrita como la ciencia de la medición.

Campbell estableció una distinción entre las magnitudes “fundamentales” y las “derivadas”; la diferencia está entre las propiedades que son y no son capaces de satisfacer la operación de adición, entre cantidades que pueden ser sumadas y entre cualidades que requieren de otro tipo de operación matemática. Según el autor, las *cantidades* poseen estructura aditiva y siempre son identificados vía la

especificación del procedimiento de concatenación; corresponden a la medición fundamental; en cambio, las *cualidades* no pueden medirse fundamentalmente y requieren de cantidades de forma previa medida; su medición es derivada. Un caso de medición fundamental es, por ejemplo, cuando una vara recta rígida se extiende de manera lineal de un extremo contiguo hacia otro extremo; la longitud de la nueva vara está en relación a las longitudes de las varas concatenadas que tienen la misma forma como la relación de adición entre números, en el sentido de que conforma tanto las leyes asociativa ($a + [b + c] = [a + b] + c$) y conmutativa ($a + b = b + a$), como la ley positiva ($a + b > c$) y la de Euclides, la cual sostiene que iguales más iguales da como resultado iguales (si $a = a'$ y $b = b'$, entonces, $a + b = a' + b'$). La veracidad de la ley de longitud depende de la confirmación de los juicios (en torno al mundo material) en la observación y el experimento. Cuando en una hipótesis se plantea que algún atributo u otro es una cantidad de trata de un asunto empírico que sólo puede considerarse científicamente en relación a la evidencia.

Campbell llegó a la conclusión de que no todas las magnitudes pueden medirse de acuerdo con la medición fundamental (longitud, peso, volumen); para esas magnitudes (velocidad, densidad, elasticidad, radiación, presión sanguínea, etc.) está la medición derivada, la cual se logra descubriendo regularidades en la leyes que relacionan atributos ya medidos, en los que no hay variaciones en las mediciones. El descubrimiento de tales leyes es un resultado de la investigación científica y debe sostenerse con evidencia relevante. Un ejemplo es la densidad: para cada sustancia diferente, la razón de la masa con el volumen no varía; será diferente para sustancias diferentes (el oro comparado con la plata). Para Campbell hay medidas como la densidad porque los atributos medibles son magnitudes, pero no cantidades (a menos que puedan medirse fundamentalmente), sino cualidades.

En la medición de la fuerza aplicada a una vara (cualquier afirmación concerniente a dicha fuerza) están involucradas las leyes de la dinámica, así como la ley de reflexión de la luz está íntimamente ligada a la medición de la extensión por el método de la palanca óptica (optical lever).⁴⁴ No hay forma de evadir estas leyes en el proceso de medición de la fuerza de una vara; primero se mide una fuerza y se aplica, asumiendo una independencia entre fuerzas; después se mide la aceleración de la masa del cuerpo, en la cual la fuerza es aplicada en lugar de aplicarla. Es ahí donde se asume la equivalencia entre acción y reacción.⁴⁵

⁴⁴ La palanca óptica es un aparato que permite medir con precisión el desplazamiento de la luz al magnificar el desplazamiento. [<http://badger.physics.wisc.edu/lab/manual/node33.html>].

⁴⁵ “Accordingly the laws of dynamics are involved in the measurement of the force on the rod (and therefore in any statement concerning that force) at least as intimately as the laws of the reflection of light are involved in the

A través del estudio de las leyes científicas, Campbell comprende las distintas operaciones matemáticas admitidas en las mediciones involucradas en la leyes de la física; de ahí la distinción entre mediciones fundamentales que aceptan la operación de adición y mediciones derivadas las cuales involucran al menos nos mediciones fundamentales relacionadas en algún tipo de operación matemática (multiplicación, división, etc.). Es a partir de las leyes físicas que se establecen los lineamientos de la derivación de las mediciones fundamentales a mediciones derivadas, así como el cálculo y el tipo de operación matemática implicada; la física es la ciencia de la medición:

Measurement and calculation are possible because certain laws and theories are true. Before we can understand measurement we must understand how laws and theories are established and precisely what they assert.⁴⁶

Para Campbell,

Measurement is the assignment of numerals to represent properties. Why is the process important and why is it applicable to some properties (e.g. Weight) and not to others (e.g. Colour)? The answer must lie in some relation between numerals and measurable properties which does not apply to non measurable properties. This relation is found in the common possession of order. The conception of order is analysed, as well as the relation between numerals and numbers. All measurable properties are capable of being placed in a natural order by means of definite physical laws which are true of them. But the possession of order alone will not enable a property to be measured, except possibly by the use of previously established systems of measurement for other properties. In order that a property should be measured as a fundamental magnitude, involving the measurement of no other property, it is necessary that a physical process of addition should be found for it. By a physical process of addition is meant an operation which is similar in a certain manner to the mathematical operation of addition.⁴⁷

En el libro *Physics: The elements*, Campbell tiene un apartado denominado Realidad científica, en donde afirma que los objetos y las sustancias son conceptos de acuerdo con su significado y con la verdad de ciertas leyes: las leyes físicas que afirman la existencia de tal objeto o sustancia. Una parte

measurement of the extension by means of the optical lever. But really they are involved a great deal more intimately; for consideration will show that there is no means whatever of measuring the force on the rod which does not involve those laws. Whenever we measure a force and apply it, we first measure it and then apply it, thereby assuming the independence of forces; and if, as we always do, we measure the mass-acceleration of the body by which the force is applied rather than that to which it is applied, we assume the equality of action and reaction". N. R., Campbell, *Physics The Elements*, Londres, Cambridge University Press, 1920, p.42.

⁴⁶ N. R., Campbell, *op. cit.*, 1920, p. 6.

⁴⁷ *Ibidem*, p. 267.

de la realidad científica son conceptos, pero no todos los conceptos son reales, como la presión, el volumen, la densidad, la temperatura y la fuerza. Para este autor *real* es frecuentemente un sinónimo de *verdadero*. El compromiso realista en Campbell está en la verdad de la leyes físicas; reconoce que estas leyes tratan con conceptos reales y no-reales, por ello, la decisión al respecto está determinada de alguna manera por la forma en que la ley define al concepto en cuestión.

Stanley Smith Stevens (1906-1973) fue un psicólogo que fundó el laboratorio de psico-acústica en Harvard, y quien introdujo los niveles de medición o escalas de medición a la estadística y el análisis cuantitativo. Estas escalas corresponden a distintos tipos de datos que se obtienen en un proceso de medición. La versión representacionalista de Stevens afirma que no todas la representaciones son del mismo tipo. Es así como distinguió cuatro tipos de funciones representacionalistas (o escalas de medición): nominal, ordinal, intervalo y razón. Estableció dichas funciones bajo el supuesto de las propiedades que no varían al realizarles asignaciones numéricas. Stevens sostenía que el tipo de escala involucrada en cualquier medición se puede determinar al preguntar cómo pueden alterarse las asignaciones numéricas sin alterar el propósito de la medición (escala); esta pregunta pretende establecer los lineamientos para poder determinar cuándo no varía una escala en el momento en que se le ha asignado un numeral. La versión representacionalista de la medición de Stevens ha sido investigada y conservada en las subsecuentes versiones de la misma. Esta tipología de las distintas escalas de medición es analizada, criticada y reelaborada por van Fraassen en una propuesta empirista representacionalista de la medición, la cual utiliza modelos tal como se vio en el capítulo I.

Stevens, por su parte, consideró como antecedente a Campbell para establecer una tipología detallada de la medición; en ella cada una de las escalas tiene una función representativa distinta, de acuerdo con las reglas que se siguen en la aplicación de numerales, en las operaciones matemáticas y en las estadísticas admitidas en cada escala. A partir del análisis de Campbell, así como gracias a su definición de medición (*Final Report*, p. 340) como la asignación de numerales a objetos o eventos de acuerdo con reglas⁴⁸, Stevens consideró que si los numerales se asignan bajo varias reglas esto nos lleva a los diferentes tipos de escalas y a los distintos tipos de medición. La cuestión, entonces, es hacer explícitas: *a)* las distintas reglas para la asignación de numerales, *b)* las propiedades matemáticas (o el grupo de estructura) de las escalas resultantes, y *c)* las operaciones estadísticas aplicables al análisis

⁴⁸ A., Ferguson; C.S., Myers; R.J., Bartlett, ; H., Banister; F.C., Bartlett; W., Brown; N.R., Campbell; K.J.W., Craik; J., Drever; J., Guild; R.A., Houstoun; J.O., Irwin; G.W.C., Kaye; S.J.F., Philpott; L.F. Richardson; J.H., Shaxby; T., Smith; R.H., Thouless; and W.S., Tucker, . “Quantitative Estimates of Sensory Events”, en Final BAAS Report, *Advancement of Science*, 2, 1940, p.340.

estadístico de las mediciones realizadas en cada tipo de escala.

Stevens define así a la medición:

Perhaps agreement can better be achieved if we recognize that measurement exists in a variety of forms and that scales of measurement fall into certain definite classes. These classes are determined both by the empirical operations invoked in the process of "measuring" and by the formal (mathematical) properties of the scales. Furthermore-and this is of great concern to several of the sciences-the statistical manipulations that can legitimately be applied to empirical data depend upon the type of scale against which the data are ordered.⁴⁹

Este autor sostiene que las escalas son posibles sólo porque existe un cierto isomorfismo entre los aspectos de los objetos y las propiedades de las series de los numerales. Al tratar con dichos aspectos se requieren operaciones empíricas. En el caso de la escala **nominal**, la operación se requiere para determinar la igualdad; ésta se realiza al establecer distinciones entre clasificaciones cualitativas (género, grupo étnico, nacionalidad, lenguaje, género, forma, etc.); en la estadística corresponde al modo (el valor que aparece con más frecuencia en un conjunto de datos). La escala **ordinal** corresponde a la operación que determina mayor o menor; es decir, permite establecer orden de rango en los datos, pero no una diferencia relativa entre ellos; los datos pueden ser dicotómicos (enfermo vs. sano) o no-dicotómicos (completamente acuerdo, medianamente de acuerdo, completamente en desacuerdo, medianamente en desacuerdo) y permite la estadística de la media (valor numérico medio que se ubica entre el valor más alto y el más bajo en una muestra de datos). En la escala de **intervalo** la operación determina la igualdad o diferencia entre intervalos, los grados de diferencias entre *items* (diferencias en la temperatura de la escala de Celsius), permite la estadística del modo, la media y el promedio aritmético (suma de la colección de números dividida por la cantidad de números en la colección). En la escala de **razón** (razón entre una magnitud de cantidad continua y una unidad de magnitud del mismo tipo), las operaciones determinan la igualdad entre razones. Una de las principales características de la razón es tener un punto cero que no es arbitrario (permite decir que un objeto tiene el doble de longitud que otro); la temperatura Kelvin es una razón porque tiene un punto cero llamado cero absoluto; en cambio, Celsius está en la escala intervalo y no en la razón, porque su punto cero está a 273.15 kelvins. En la razón todas las operaciones estadísticas antes mencionadas son permitidas,

⁴⁹ S. S., Stevens, "On the Theory of Scales of Measurement", en *Science*, nueva Serie, vol. 103, núm. 2684, junio, 1946, p. 677.

porque están definidas por las operaciones matemáticas admitidas en la escala razón. La mayoría de las medidas en las ciencias físicas y en la ingeniería están dadas en la escala razón (masa, longitud, duración, ángulo plano, energía, carga eléctrica, etc.).

Además de las operaciones antes mencionadas, se pueden realizar otras: pueden identificarse los miembros de una serie de numerales y clasificarlos; también determinarse diferencias iguales, como $8-6=4-2$ y razones iguales, como $8/4=6/3$. El isomorfismo entre las propiedades (matemáticas) de la serie de numerales y las operaciones empíricas realizadas con objetos (igualdad, mayor o menor, igualdad o diferencia de intervalos, igualdad entre razones) permite el uso de las series como un modelo para representar aspectos del mundo empírico. El tipo de escala depende de la clase de operaciones matemáticas básicas realizadas; estas operaciones están de forma ordinaria limitadas por la naturaleza de la cosa escalada y por nuestra decisión en los procedimientos, pero una vez elegidos, las operaciones determinan que resultará una u otra de las escalas de la tabla 1.

Los compromisos realistas en esta versión representacionalista de la medición están en las propiedades matemáticas formales de las escalas que tienen y mantienen una estructura matemática (que no varía) aún cuando se les asignen numerales, así como en el isomorfismo entre los aspectos de los objetos que se medirán y las propiedades de las escalas que asignan numerales.

Hacia 1951, Patrick Colonel Suppes realizó una nueva teoría representacionalista de la medición: la cual fue la primera en un programa de investigación que estableció los fundamentos de la medición que permearían por el resto del siglo. Para Suppes, el objetivo de una teoría de la medición es hacer explícita la estructura que un conjunto de datos empíricos debe satisfacer para aplicarle computaciones numéricas.

TABLE 1

Scale	Basic Empirical Operations	Mathematical Group Structure	Permissible Statistics (invariantive)
NOMINAL	Determination of equality	<i>Permutation group</i> $x' = f(x)$ $f(x)$ means any one-to-one substitution	Number of cases Mode Contingency correlation
ORDINAL	Determination of greater or less	<i>Isotonic group</i> $x' = f(x)$ $f(x)$ means any monotonic increasing function	Median Percentiles
INTERVAL	Determination of equality of intervals or differences	<i>General linear group</i> $x' = ax + b$	Mean Standard deviation Rank-order correlation Product-moment correlation
RATIO	Determination of equality of ratios	<i>Similarity group</i> $x' = ax$	Coefficient of variation

Tabla 1

Fuente: S. S., Stevens, "On the Theory of Scales of Measurement", en *Science*, nueva Serie, vol. 103, núm. 2684, junio, 1946, p. 678.

Patrick Suppes define a la medición de la siguiente forma:

It is a scientific platitude that there can be neither precise control nor prediction of phenomena without measurement. The point of a theory of measurement is to make explicit the structure that a set of empirical data must satisfy in order to apply numerical computations to them. From an abstract standpoint a set of empirical data consists of a collection of relations between a specified set of objects. The problem of measurement is to assign numbers to the objects in such a way that the relations receive an exact and reasonable numerical interpretation.

In constructing a particular theory of measurement it is not appropriate to consider only a single set of data, for the theory should be applicable to many situations. Furthermore the theory is not concerned with all possible sets of data on relevant sets of objects, but only with those which have a structure fixed in advance. Finally coherence is given to the theory by specifying a uniform numerical interpretation of this structure.⁵⁰

Suppes propuso una teoría axiomatizada de la medición, en la cual, si se cumplen las condiciones de los axiomas, cualquier sistema que las satisfaga es isomórfico con un subsistema de números reales positivos. Caracterizó a la función representacionalista como un conjunto teórico que relaciona estructuras. El sistema relacional se caracteriza por especificar un conjunto de axiomas cualitativos o

⁵⁰ D., Scott y P., Suppes, *Foundational Aspects of Theories of Measurement*, Technical Report núm. 6, April 1, Applied Mathematics And Statistics Laboratory Stanford University Stanford, California, 1957, p. 1.

condiciones que el sistema hipotéticamente debe satisfacer. Para cualquier caso de medición, la existencia de la representación numérica se reduce a probar que un conjunto teórico estructural relacional puede mapearse con otro por medio de una función uno a uno (isomórfica) o varias a uno (homomórfica).

[...] Suppes designated such a proof, a *representational theorem*. Furthermore, it could be proved whether the numerical representation achieved in any instance admitted transformations of the numbers assigned that would preserve the structure of the representation and, if so, what the class of such admissible transformations is. Suppes called a proof of this kind a *uniqueness theorem*.⁵¹

Para Suppes, era importante considerar que el sistema relacional empírico (especificación del conjunto de datos empíricos) y sus axiomas asociados debían especificarse en términos de objetos identificables de manera empírica, operaciones y relaciones, y, en lo posible, en condiciones directamente testables. La medición científica en esta visión se reduce a las ciencias que pueden establecer estas condiciones. Los axiomas verdaderos que se cumplen respecto a las condiciones que el sistema debe satisfacer se pueden considerar leyes empíricas y no sólo definiciones.

Según el análisis de Michell, la propuesta de Suppes es realista porque, para obtener una medición, se requiere que la estructura sea investigada y confirmada antes de que el sistema empírico relacional establezca alguna hipótesis en torno a dicha estructura. Es decir, es una teoría que supone de manera previa la existencia de estructuras en los conjuntos de datos. La visión de Suppes supone estructuras fijas en los conjuntos de datos empíricos de los objetos que se relacionan isomórficamente en funciones uno a uno; estas estructuras han sido especificadas por interpretaciones numéricas uniformes (que tampoco cambian), de ahí que sea posible establecer sistemas empíricos junto con axiomas asociados en condiciones testables y repetibles de forma directa. Estas suposiciones de estructuras fijas, con interpretaciones numéricas uniformes, reflejan un realismo respecto a las estructuras y a como éstas se relacionan mediante el isomorfismo.

Por último, analizaré la versión representacionista denominada *medición conjunta* (*conjoint measurement*); esta teoría amplía las operaciones matemáticas permitidas en la medición derivada, como la adición. El término *conjoint measurement* (medición conjunta) fue introducido por Luce y Tukey en 1964. Dicha teoría especifica las condiciones necesarias y suficientes para que un orden débil

⁵¹ Joel, Michell, "Measurement", en *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Anthropology and Sociology*, Elsevier, Holland, 2007, p. 88.

que recae en un conjunto de producto pueda ser representable de forma aditiva y multiplicativa. Un orden débil menor o igual (\leq) sobre un conjunto de producto $A \times B$ (para conjuntos no vacíos A y X) es representable de manera multiplicativa si y sólo si existen funciones homomórficas, f y g , de A y X , respectivamente dentro de los números reales positivos tal que para cualquier a y b en A y x y y en X , $\{a, x\} \leq \{b, y\}$ si y sólo si $f(a) \cdot g(x) \leq f(b) \cdot g(y)$.

La versión *conjunta* de la teoría representacionalista se define de la siguiente manera:

[...] this version of the representational theory provides a more uniform treatment of physical measurement than any before it. Not only fundamental measurement, but also derived measurement, are presented as cases of numerical representation, in which the empirical structure represented is clearly displayed.

The fact that the double cancellation condition⁵² is directly testable means that the relationship between density, mass and volume is an empirical law and not a definition.⁵³

Esta versión resuelve el tipo de operaciones admitidas al permitir una representación numérica tanto en la medición fundamental como en la medición derivada, dicha representación expone de forma clara la estructura empírica, al dejarla demostrada y fija. Además, la operación de doble cancelación posibilita relacionar cantidades como la densidad, la masa y el volumen, la relevancia de dicha relación estriba en que puede ser testada directamente y ser considerada una ley empírica.

La versión representacionalista de la medición conjunta, al igual que la teoría propuesta por Suppes, son teorías de la medición vigentes, las cuales se rigen bajo los mismos supuestos y son consideradas como los fundamentos de la medición científica en el siglo XX; son teorías directamente testables, en las que la especificación de los términos y axiomas en objetos es identificable de manera empírica. Sin embargo, no se libran de tener críticas u objeciones como se verá a continuación.

3. El análisis de Berka y Balzer en torno a las teorías representacionalistas de la medición

La teoría representacionalista de la medición, siguiendo a Karel Berka, descansa en la presuposición de un isomorfismo (u homomorfismo) entre algún sistema empírico relacional y uno

⁵² La condición de doble cancelación es una generalización de la condición euclidiana: iguales más iguales da iguales. En su forma más generalizada, significa que desiguales (en una dirección particular) más desiguales (en la misma dirección) da desiguales en dicha dirección. Sin embargo, la representación aditiva se expresa como diferencias; esto es evidente porque a su vez significa diferencias entre elementos dentro del mismo conjunto, A y X son aditivas. Así, puede interpretarse también como un requerimiento de adición. *Ibidem*, p. 92.

⁵³ *Ibidem*, p. 93.

relacional. Debido a dicha presuposición, cierta función representativa es generalmente asignada al mapeo numérico.⁵⁴

Then, the difference between particular variations of the representation theory of measurement lies in the way in which they interpret the nature of the numerical mapping, how they understand the mutual correspondence, and what consequences as to representation of the empirical characteristics of the measured magnitudes, particularly with respect to the nature of the resulting scale values.⁵⁵

La teoría representacionalista de la medición requiere: afirmar que los números se asignan a los objetos empíricos; especificar que las relaciones definitivas entre números y operaciones (con números) corresponden a ciertas relaciones entre éstos y las operaciones con ellos, es decir, que las relaciones definitivas dependen a su vez de otras relaciones entre números y operaciones, y ambas deben ser especificadas. Así también, esta teoría debe justificar de manera teórica las condiciones en las cuales la asignación de números a objetos empíricos es posible, además de que dicha asignación sea empíricamente significativa y realizable de forma operacional.

[...] When one justifies the factual existence and meaningfulness of this correlation, which is defined by the rules of correspondence between empirical and numerical relational systems and between empirical facts and numerical expressions, one might, in principle, start from some numerical relational system and look for a suitable empirical model for it, or, to the contrary, formulate – on a more general level, or on a specific one – formal characteristics that must be fulfilled by the investigated empirical relational system if we are to find for it the corresponding system.⁵⁶

Para justificar la existencia de la correlación entre un sistema empírico y un sistema relacional numérico, entre hechos empíricos y expresiones numéricas, con frecuencia se utilizan modelos empíricos que se ajusten al sistema numérico relacional; cuando se obtiene un ajuste entre todos los elementos de un sistema empírico y todos los elementos del sistema relacional numérico, la representación del hecho empírico es isomórfica. Las teorías representacionalistas de la medición tienen que justificar la relación entre hechos y expresiones numéricas; su mayor problema es obtener cada vez mejores criterios que justifiquen dicha relación en términos de isomorfismo.

⁵⁴ Karel, Berka, *Measurement, its Concepts, Theories and Problems*, Holanda, D. Reidel Publishing Company, 1983, p. 113.

⁵⁵ *Ídem*.

⁵⁶ *Ibidem*, p. 114.

Wolfgang Balzer define la teoría representacionalista de la medición como la asignación de números a objetos empíricos concretos o eventos en los cuales los números asignados junto con operaciones matemáticas estándar, representan los objetos empíricos o eventos (con las operaciones empíricas definidas por ellos).

[...] for a given empirical structure consisting of a domain of concrete objects o events and concrete operations among these, measurement is a piecemeal fashion, establishes a mathematical structure consisting of a domain of numbers and abstract operations among these such that the mathematical structure represents the empirical one, which means that the both structures are homomorphic or even isomorphic under suitable mapping of empirical objects to mathematical objects. Often the empirical structure can be characterized by axioms expressing operationally testable propositions, and the existence of a homomorphism into a suitable mathematical structure can ben proven from these axioms. The statement expressing the existence and uniqueness of such a homomorphism in then called a representation theorem, and the mapping from objects to numbers (or the whole class of these) is termed a scale. Among the empirical operations there will usually be a relation of order, and classes of such orderings (subject to further conditions) are called quantities. I will say that the values of numerical function belong to a quantity, if the function represents empirical structures of which the quantity's orderings are parts.⁵⁷

Balzer sostiene que la visión representacionalista de la medición se apoya en tres puntos: 1) los números o los objetos matemáticos permiten manipulaciones que resultan imposibles o al menos difíciles de realizar con objetos o eventos concretos. Debido a ello, las representaciones numéricas resultan eficientes para unificar y hacer coherente tanto el discurso como la práctica científica al lidiar con objetos concretos, eventos y operaciones; 2) en varios casos, los desarrollos históricos, de hecho, llevaron al establecimiento de representaciones numéricas, como son: la geometría, la cronometría, la cinemática, la masa gravitacional o inercial y la temperatura; éstos son algunos casos relevantes en donde la representación numérica es crucial; 3) considerar que los números no son más que “representaciones numéricas” de estructuras empíricas; así, la representación de las estructuras empíricas en términos de números tiene un fuerte carácter analítico desde ciertas posturas en la filosofía de la matemáticas.

⁵⁷ Wolfgang, Balzer, “The structuralist view of measurement: An extension of received measurement theories”, en *Philosophical and Foundational Issues in Measurement Theory*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1992, pp. 94 y 95.

Este autor considera que la medición fundamental (que no es derivada y no requiere de una medida previa) aparece en la ciencia cuando algún nuevo rango del fenómeno es afrontado por primera vez de manera cuantitativa. Sin embargo, cuando una o varias teorías se establecen en cierto dominio, nuevos conceptos de naturaleza teórica serán introducidos con el fin de obtener una organización más eficiente de los datos disponibles. Con frecuencia estos nuevos conceptos no son accesibles de manera directa por medio de la medición fundamental, ya que éstos se determinan por la medición derivada, pues son conceptos que surgen al cabo de cierto tiempo en el que una teoría ha permanecido en cierto dominio. Una medición derivada de una función consiste en una definición explícita de dicha función, en términos de otras funciones accesibles a la medición fundamental, ya sea medir valores apropiados de estas últimas funciones y/o calcular los valores deseados de la función definida, a través de los valores medidos de acuerdo con la definición dada.

Los trabajos en medición conjunta (*conjoint measurement*) le sirven a Balzer para establecer una teoría estructuralista⁵⁸ de la medición:

Recent work on measurement in conjoint systems suggests that the question of definability in connection with derived measurement may be less central. The procedure just outlined might be replaced by some fundamental method directly producing the “defined” quantity; under suitable conditions, this direct representation can be decomposed multiplicatively. At present, there are only, real-life examples of conjoint measurement, and these are mainly initiated by the development of the abstract notion. Still one could insist that derived measurement in principle might be replaced by conjoint measurement and that the distance between scientific practice and the picture emerging from derived measurement, therefore, is artificial. However, replacing derived measurement by conjoint measurement would not bring us closer to scientific practice. In the natural sciences, there is a large class of methods of measurement that simply are not of the conjoint type.

In any case, the picture of the structure of science emerging from the representationalist view is not the most adequate one, and my claim is that the structuralist view of measurement provides a more adequate one.⁵⁹

Para Balzer, una postura estructuralista de la ciencia no debe apoyarse en puntos de vista

⁵⁸ La teoría estructuralista de la medición no se caracterizará en la tesis, si bien es interesante, lamentablemente Balzer no continuó con su trabajo y no hay discusiones recientes al respecto.

⁵⁹ *Ibidem*, pp. 100 y 101.

representacionistas de la medición, sino en una visión estructuralista de ésta. Si bien acepta las ventajas de la medición conjunta, no considera que la medición derivada deba simplemente ser remplazada por aquella ya que ambas son parte del gran grupo de métodos de medición en las ciencias naturales, y que remplazarla no nos acerca más a la práctica científica. Una visión más amplia de la medición científica reconocerá que las teorías representacionistas no han sido ni son las únicas formas de medir en la ciencia, por ejemplo, la escala Mohs para medir la dureza de un objeto, en la que el principal uso de esta medida es la identificación mineral.⁶⁰

4. Problemas en la teoría representacionista de la medición

La teoría representacionista de la medición surge a principios de la década de 1900 y se concretiza en el primer volumen de *Foundations of Measurement* (1971), estableciendo los métodos, operaciones, parámetros y criterios para medir en la ciencia desde supuestos realistas. El análisis estructuralista de Balzer permite considerar que, aunque la teoría representacionista de la medición sea una teoría robusta actual, no refleja todas las formas y métodos de medición en la historia de la ciencia. No obstante, ofrece una vía alternativa para la medición científica desde una postura estructuralista que puede desarrollarse en el futuro, la cual no implique compromisos realistas.

Joel Michell apoya una versión realista de la medición que contrasta con la representacionista. Este enfoque realista pretende evitar las idealizaciones, no considerar a los números como entidades abstractas (entidades existentes fuera del espacio y el tiempo). Su postura principal radica en no emplear entidades (números), las cuales están relacionadas externamente a características de situaciones empíricas por convenciones humanas. La teoría realista de la medición pretende explicarla desde un enfoque naturalista en el que el entendimiento de la naturaleza es espacio-temporal. La propuesta de Michell no parece ofrecer una postura alternativa real a la teoría representacionista de la medición, sin embargo, este autor es un especialista de la tradición en la medición científica y realiza un análisis que resulta pertinente para esta investigación.

Representationalists are not anti-realist, and indeed empiricism of the last 60 years is staunchly realist. They believe, like Michell, that the truth of statements of science and mathematics requires objects that are independent of observation and correctly described by those statements. Thus abstract, in particular, sets, were established in the philosophical landscape thanks to the indispensability argument of Quine

⁶⁰ Ernest, W., Adams, "On the Nature and Purpose of Measurement", en *Synthese*, vol. 16, núm. 2, 1966, pp. 125-169.

and Putnam. According to that argument, our ontology requires mathematical objects because they are indispensable for science.⁶¹

Joel Michell⁶² ha analizado las teorías representacionistas de la medición desde Russell, mostrando los supuestos realistas en las posturas que defienden estas teorías en torno a la medición. El análisis de Michell es pertinente para la investigación porque el autor sostiene que todas las visiones de la medición que caen en una perspectiva representacionista son realistas. La cita anterior refuerza la idea de que el empirismo en los últimos sesenta años se ha apoyado en teorías de la medición que tienen supuestos y compromisos realistas, ya que los objetos matemáticos son indispensables para la ciencia.

El argumento de Michell parte de su idea de realismo, en la cual los métodos científicos promueven la adquisición de conocimiento acerca de la estructura y las maneras de operar de los distintos sistemas naturales que se investigan. La medición es uno de los métodos científicos más importantes; por ello, le resulta sorprendente que no existan interpretaciones realistas en la literatura metrológica. Con frecuencia se considera a la medición como un método o proceso (capítulo V) o como una operación (capítulo I); vista desde este enfoque, intenta rescatar el proceso de medir y marca una distancia en la concepción de la medición como teoría. Michell asocia el realismo en la ciencia con un concepto literal de verdad que nos compromete con la existencia de las cosas independientemente de la observación. El autor hace una distinción entre realismo metafísico y realismo epistemológico: el primero sostiene la existencia de un mundo objetivo estructurado de manera espacio-temporal (existencia del mundo independiente del sujeto); el segundo afirma que las cosas son lógicamente independientes de la observación (conocimiento de las cosas por la lógica y la matemática). Además, sostiene que la visión en la cual se considera que los números son relaciones localizadas espacio-temporalmente se compromete con una visión realista del número. Para Michell, los defensores del concepto realista de verdad interpretan los números reales como razones.

Por otro lado, en la visión de las matemáticas en la cual se afirma que los números son entidades abstractas de algún tipo, dichas entidades no son intrínsecas al contexto empírico de la medición, pero se relacionan de forma externa por convención humana. Para Michell lo anterior encaja de manera clara con la visión representacionista de la medición, visión que ha dominado el pensamiento filosófico en

⁶¹ David, Sherry, “Thermoscopes, thermometers, and the foundations of measurement”, en *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 42, 2011, p. 522.

⁶² J., Michell, “The logic of measurement: A realist overview”, en *Measurement*, 38, 2005, pp. 285-294.

torno a la medición en el siglo XX.

Los compromisos ontológicos de entender a la medición desde el concepto realista de verdad⁶³ no se dan sólo con la existencia lógicamente independiente de las cosas en el espacio y tiempo, sino también con la existencia de las propiedades y relaciones estructuradas de forma cuantitativa y con la existencia de los números reales, entendidos como las relaciones de razón entre niveles específicos de dichos atributos. La medición es el intento de estimar la razón entre dos instancias de un atributo cuantitativo: la primera es la magnitud medida y la segunda la unidad conocida.

La conclusión de Michell es que la medición científica en general se basa en la hipótesis de que algún atributo es cuantitativo. En cualquier ciencia esta hipótesis afirma que ciertas condiciones empíricas se obtienen y por esto se descartan otras posibilidades. El método científico de indagación crítica, según el cual las hipótesis sólo se aceptan siguiendo serios intentos para ponerlas a prueba y ofrecer evidencia a su favor, puede aplicar con cualquier hipótesis. Michell explica por qué los números reales son razones, así como los compromisos que se adquieren cuando es aceptada la hipótesis de que un atributo es cuantitativo; entonces además de esa hipótesis -como parte del mismo paquete teórico- se acepta también que diferentes magnitudes del atributo mantienen relaciones de razón; dichas relaciones son instancias de números reales. Por tanto, los números reales se consideran localizados en el contexto empírico de la medición como aspectos intrínsecos. Cuando los científicos se proponen idear métodos prácticos para medir, lo que pretenden estimar es precisamente estos números reales. Para Michell, el método de medición es igual a cualquier método utilizado en ciencia; no hay nada que haga a la medición diferente en principio a cualquier otra actividad científica.

David Sherry⁶⁴ afirma que la teoría de la medición analiza los procedimientos usados para derivar mediciones cuantitativas de observaciones cualitativas. Las visiones de la medición antes expuestas prescriben la estructura que un sistema de observaciones cualitativas debe tener para que las relaciones numéricas puedan usarse -ya sea para representar o describir aquellas observaciones-, de forma tal que permita realizar inferencias matemáticas acerca de las situaciones empíricas en las que las observaciones se trazaron. Sherry señala que la representación difiere de la descripción; cuando se prescribe la estructura no se hace una distinción entre ambas porque lo que importa es realizar las inferencias matemáticas; por lo tanto, las diferencias sólo se establecen en los desacuerdos en torno a

⁶³ Michell no clarifica qué teoría de la verdad está considerando. La noción realista de verdad que menciona pretende explicitar los compromisos ontológicos respecto a la existencia de las cosas y de las entidades matemáticas.

⁶⁴ David, Sherry, "Thermoscopes, thermometers, and the foundations of measurement", en *Studies in History and Philosophy of Science*, vol.42, 2011, pp. 509–524.

los informes/resultados de la medición.

El autor sostiene que los empiristas consideran abstractos los resultados de la medición: representaciones numéricas de contenidos empíricos. Por otro lado, los realistas afirman que los resultados de la medición describen relaciones empíricas numéricas entre magnitudes (por ejemplo, niveles de un atributo).

Según Sherry ninguna de las dos posturas es satisfactoria, porque ambas requieren que el mundo empírico tenga una estructura (estructura fija, que no cambia y es independiente de los sentidos); es decir, ambas posturas suponen o presuponen una estructura en el mundo empírico la cual está mucho más allá de lo que se puede acceder empíricamente. Para el autor, este requerimiento (que el mundo tenga una estructura exacta) sobrepasa los predicados empíricos, si consideramos que aquello que podemos decir del mundo está basado en nuestro contacto empírico con él.

Sherry sostiene que ni la formulación realista ni la empirista están vinculadas a la observación; ambas versiones privilegian la adaptación a sus axiomas en defensa de sus teoremas representacionistas. Dichos axiomas involucran conceptos exactos y estructuras cuasi empíricas. De este modo, los test empíricos -tanto para los realistas como los empiristas-, implican identificar conceptos de acuerdo con la exactitud, noción que no es identificable de manera empírica. Y como no se pueden observar instancias de conceptos exactos, las bases para su identificación son pragmáticas.

Según el autor, la historia de la medición de la temperatura sugiere un punto medio entre adoptar un programa de investigación dictado por estas teorías de la medición o simplemente abandonar la tarea de la cuantificación. El caso de la temperatura ofrece un largo proceso de medición que involucró tanto un acceso empírico experimental como un desarrollo conceptual. Para Sherry, la afirmación de Michell que sostiene que los realistas apoyan una teoría representacionista de la medición tradicional -en la cual los números tienen una existencia real en el mundo-, y que los empiristas consideran a los números como construcciones de entidades abstractas hechas por el hombre desprovistas de contenido empírico, reafirma que ambas posturas de la medición no están vinculadas a la observación y traspasan aquello a lo que puede accederse empíricamente.

Lo anterior, le permite sostener lo siguiente:

I am concerned to show that neither philosophy is satisfactory; for each requires that the empirical world exhibit an exact structure, a requirement that flies in the face of our use of empirical predicates. For the sake of concreteness, thought, I need to discuss specific axiom sets, and, unfortunately, the

different philosophical stances are built into the domains of those axiom sets.⁶⁵

La conclusión de Sherry es que la teoría representacionalista de la medición bien puede enmarcarse en términos de atributos en lugar de objetos o eventos; los atributos estarían en una dependencia empírica (se puede acceder a ellos empíricamente), en cambio los objetos o eventos suponen una estructura.

Estas versiones de la teoría representacionalista de la medición y sus supuestos realistas servirán para analizar si el empirismo estructural de van Fraassen está bien fincado con una teoría representacionalista de la medición o si, en su defecto, otra teoría de la medición sería más adecuada para sostener dicha postura. En el capítulo IV se valorará si van Fraassen tiene que apoyarse en una teoría representacionalista de la medición por considerarla teóricamente dependiente, y si por tanto, eso lo hace mantener cierto realismo en las teorías (o modelos teóricos en su caso), aunque en el fondo está considerando el ejemplo de la mecánica cuántica en donde la medición enfrenta un fuerte problema de representación, al no tener un vínculo directo con el terreno empírico. Si bien van Fraassen no se compromete con el concepto realista de verdad, se apoya en una teoría representacionalista de la medición, en Stevens, en particular para criticar a la medición como mera asignación de números. Es importante recordar que van Fraassen sostiene que medir es representar porque localiza dentro de un espacio lógico y no es una mera asignación de números, así también, adopta el uso de las series de numerales junto con ciertas operaciones empíricas como un modelo para representar aspectos del mundo empírico. Además, la influencia de Suppes respecto a explicitar la estructura de un conjunto de datos empíricos al caracterizar la medición, se ve marcada en su empirismo estructural.

El siguiente capítulo abordará de los modelos en la representación, analizando distintas posturas y críticas respecto a cómo los modelos se vinculan con aspectos de la realidad o de cómo la representan. También se tratarán discusiones en torno a la abstracción e idealización de los modelos en la ciencia. Asimismo, se analizarán las discusiones en torno a los modelos de datos y los de experimentos.

⁶⁵ *Ibidem*, p. 518.

CAPÍTULO III

Representación científica a través de Modelos

1. Introducción

Hasta este punto he analizado en el capítulo I la postura empirista de la medición realizada por van Fraassen la cual incluye una interpretación semántica de las teorías que es relevante para su noción de *representación científica*. La interpretación semántica de las teorías las contempla como familias de modelos; de ahí que los modelos descritos y caracterizados en el capítulo I (teóricos, de superficie, de datos) sean centrales en la noción de *representación científica* que defiende van Fraassen desde su enfoque empirista estructuralista. Puesto que la propuesta de medición científica de van Fraassen es representacionalista, en el capítulo II presenté de manera sintética algunas de las principales tesis de la teoría representacionalista de la medición con el fin de analizar los supuestos principales de esta tradición representacionalista. La filosofía de la ciencia reciente está explorando sistemáticamente algunas formulaciones del tema de la representación científica en términos de modelos, como por ejemplo Anouk Barberousse y Pascal Ludwing, 2009; Margaret Morrison, 2009; Katherine Branding, 2011, y Ronald Giere, 2009.

Los modelos son ampliamente utilizados en diversas ciencias con fines diferentes, por ejemplo, explicar, representar, calcular, etc. Incluso algunos autores interpretan a las teorías científicas como modelos. Los modelos en la ciencia tienen particularmente un papel clave ya que nos permiten acceso cognitivo a fenómenos o procesos naturales a los cuales difícilmente podríamos acceder, ya sea para manipularlos, intervenirlos o medirlos. Igualmente, muchos de ellos nos sirven para representar tales fenómenos y sin los cuales la representación sería o muy pobre o imposible, ya sea porque el fenómeno no es directamente observable, porque está en el pasado o porque el lapso temporal del proceso en cuestión nos es inaccesible. Sin embargo, habría que subrayar que no toda representación científica se hace a través de modelos sino, por ejemplo, a través de imágenes, funciones, ecuaciones, etc. Si bien teorías clásicas de la medición como la de B. Russell (1903) y N. Campbell (1920) interpretaban la representación científica en términos de funciones matemáticas, desde Krantz, Suppes y Tversky en los años 70's se ha analizado la idea de representación asociada a la medición científica mediante la idea de modelos ya que en la práctica científica una buena parte del conocimiento métrico de fenómenos o

procesos inaccesibles sólo lo desarrollamos mediante modelos. De hecho, es al modelo que representa el fenómeno o proceso estudiado que le asignamos valores de magnitudes físicas, y no directamente al fenómeno. De ahí la importancia de entender adecuadamente en qué sentido la función representacionalista de la medición científica se hace a través de modelos, lo cual es una de las preocupaciones centrales de la mencionada literatura sobre el tema.

En el capítulo II analicé los elementos principales de la medición científica interpretada representacionalistamente, ahora lo que hay que explorar es el tema de la representación a través de modelos. En la filosofía de la ciencia la visión suppeana en torno a los modelos y a la interpretación semanticista continua siendo dominante. Sin embargo, K. Branding (2011) elabora una crítica precisa en torno a la concepción suppeana y propone modificaciones relevantes como por ejemplo, la relajación del requerimiento de isomorfismo o el rechazo de la interpretación tarskiana de modelo, como lo analizaré en este capítulo. La importancia de la propuesta de Branding radica, entre otras cosas, en que concibe la función representativa de las teorías mediante modelos modificando la jerarquización tradicional de la visión suppeana al defender una postura estructural realista. Esto significa que si bien la autora defiende una interpretación semántica de las teorías, al concebirlas como modelos, rechaza la idea de que las estructuras se preserven a lo largo de los distintos niveles de la jerarquía, lo cual era defendido por la visión suppeana, así como también considera que las teorías hablan sobre tipos de objetos teóricos y no sobre objetos físicos particulares.

Otro autor que al igual que Branding también realiza modificaciones a la jerarquización tradicional de los modelos es R. Giere, quien propone un nuevo modelo que le llama “modelo de experimento” el cual también cumple con las funciones representacionalistas al igual que el modelo teórico y el modelo de datos. El modelo de experimento, según Giere, vincula principios dictados por la teoría y los datos que arroja el fenómeno lo cual lo coloca entre el modelo teórico y el modelo de datos. Para el autor frecuentemente en las prácticas científicas también se contruyen modelos de experimentos que en algunos casos llegan a ser tan complejos y elaborados como los modelos teóricos al grado que pueden considerarse representaciones. Si bien Giere no plantea su modelo de experimento dentro del marco de la discusión sobre el tema de la medición científica, considero que es de suma importancia su propuesta para explicar cómo en un proceso de medición se vinculan los aspectos teóricos y los datos obtenidos del fenómeno. Desde mi punto de vista, no hay en la literatura filosófica reciente una concepción de modelo que arroje luz de la compleja interrelación entre datos y teorías involucrada en

los procesos de medición científica, excepto el de Giere. En este capítulo me detendré especialmente a explicar esta cuestión. Si bien, tal como lo vimos en el capítulo I, van Fraassen elabora un modelo que conecta los datos y la teoría el denominado “modelo de superficie” en el marco de su idea de medición científica, él lo utiliza solamente para explicar la medición científica en el sentido de *producto* y no de *proceso*. La pertinencia del modelo de Giere radica en intergrarlo a la comprensión de la medición científica como *proceso*, lo cual explicaré en este capítulo y lo mostraré con un estudio de caso en el capítulo V mediante la medición terrestre de la velocidad de la luz realizada por Albert A. Michelson.

2. Modelos y representación

Los modelos científicos pretenden acceder a aspectos del fenómeno estudiado utilizando herramientas de representación que con frecuencia se apoyan en ideas abstractas o conceptos y utilizan formalismo matemático. Las formas en que los modelos científicos se expresan varían entre: bocetos, diagramas, gráficas, ecuaciones matemáticas, etc.; estos modos de expresión tienen el propósito de acceder intelectualmente a las ideas relevantes que el modelo describe al hacer explícitos rasgos del fenómeno cuyo acceso no es empírico. Los modelos científicos permiten tener acceso al fenómeno y ofrecer información relevante para que pueda ser interpretada de manera eficiente por aquellos que comparten el mismo objetivo. Asimismo, tratan acerca de los fenómenos empíricos, pueden ser objetos o entidades abstractas, esto depende de la elección de las herramientas de representación: ecuaciones matemáticas, lotes (sumarios) de datos empíricos, bocetos, objetos, listas de supuestos o simplemente afirmaciones del lenguaje. Estas herramientas expresan información acerca de la teorías utilizadas en el modelo, información empírica sobre la materia de estudio del modelo y varias restricciones que derivan de las leyes de la naturaleza conocidas y aceptadas por la comunidad científica, así como supuestos que ayudan a que el modelo sea más accesible y fácil de comunicar.

Diagrama 1. Diagrama de los modelos científicos acerca del fenómeno

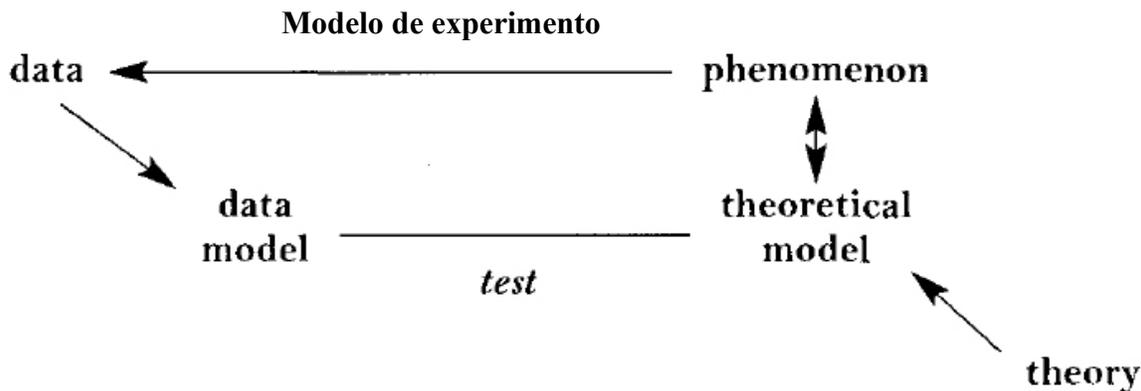


Diagrama 1. Cuando el fenómeno es examinado experimentalmente u observacionalmente, se producen datos (data) acerca del fenómeno (phenomenon). Para comparar los datos con el modelo teórico (theoretical model) se requiere un modelo de datos (data model). Para extraer los datos del fenómeno un modelo del experimento o del aparato observacional debe insertarse entre los datos (data) y el fenómeno (phenomenon). [Jones, Bailer, Daniela, M., *Scientific Models in Philosophy of Science*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2009, p.174]⁶⁶.

Debido a que existen distintos tipos de modelos científicos que modelan una variedad de entidades, resulta difícil tener una definición general acerca de todos los tipos de modelos científicos. No todos son entidades abstractas y no todos son modelos concretos, por ejemplo, los modelos de las moléculas de madera y sus sustitutos contemporáneos, como las imágenes tridimensionales generadas por computadoras (modelos concretos); estos modelos tienen la característica de ser fácilmente manejables y pueden ser vistos desde diferentes puntos de vista.

Además de la noción de *representación exacta*,⁶⁷ con frecuencia se afirma que los modelos científicos son representaciones, en el sentido de que sustituyen otra cosa; en este sentido la representación suple al sistema que suelen investigar y posee contenido intencional. Las

⁶⁶ Cabe aclarar que el modelo del experimento no aparece en la tradición semántica de las teorías ni en su caracterización típica de los modelos científicos, la indicación del mismo se ha agregado al diagrama propuesto por Jones.

⁶⁷ En el capítulo II se expuso una noción de *representación exacta* a través de una correspondencia o isomorfismo entre las representaciones construidas por los datos precisos y cálculos matemáticos y los fenómenos. La noción de *representación* ahora expuesta no es exacta sino substituta, suplente; esta noción de no cae dentro de una postura realista. Este tipo de representación se expresa como un razonamiento suplente, que está en lugar de aquello que se quiere representar; la representación en sí misma no es lo representado, es sólo un sustituto. (Véase, Chris, Swoyer, "Structural Representation and Surrogate Reasoning", en *Synthese*, vol. 87, 1991, pp. 449-508.)

representaciones de este tipo pueden ser lingüísticas (en este caso, los modelos son descripciones), parcialmente matemáticas, diagramáticas, pictóricas e incluso en tres dimensiones. De manera frecuente, algunos modelos son usados como herramientas predictivas. En la finanzas, se usan como cajas negras matemáticas en donde no es clara la relación representacionalista para la situación en cuestión. Aun así, es común sostener que los modelos científicos tienen un contenido representacionalista, incluso cuando no es fácil recuperarlo de sus capacidades predictivas.

3. Modelos como ficciones: la postura de Barberousse y Ludwig

Para Anouk Barberousse y Pascal Ludwig⁶⁸ (2009), afirmar que los modelos son representaciones lleva a ponerlos en la misma categoría de las teorías; sin embargo, para los autores la distinción entre modelos y teorías no parece tan clara, pues en muchos casos resulta difícil establecer la diferencia entre modelo y teoría porque aplican al mismo dominio de los fenómenos y están hechas de los mismos componentes. Por ejemplo, los físicos suelen decir que hasta hoy el modelo estándar de las partículas elementales es nuestra mejor teoría disponible de microfísica; en 1913 en el artículo que presentó el modelo del átomo de hidrógeno que ahora lleva su nombre, Niels Bohr utilizó las palabras *modelo* y *teoría* para describirlo.

Algunos aspectos de los modelos pueden ser literalmente falsos en torno a situaciones observacionales o experimentales en las cuales se usan y en las que contribuyen a investigar y a entender mejor. A pesar de que los modelos no representan de manera fiel la situación bajo investigación, Barberousse y Ludwig sostienen que tienen un contenido representacionalista aun cuando no sea tan fácil recuperar este contenido de las capacidades predictivas de los modelos. Aquello que consideran como contenido representacionalista no es definido por los autores; su idea central es defender un aspecto representacionalista de los modelos desde su función predictiva a pesar de que en la elaboración de los modelos se utilicen ficciones. Afirmar que los modelos pueden ser literalmente falsos acerca de la situación observacional o experimental porque no representan de forma fiel la situación que está bajo investigación no plantea todo el problema en torno a la utilización de los modelos en la ciencia. Para estos autores es necesario identificar su contenido aprovechable y no sólo lo que es falso en ellos. Aun cuando los modelos no sean representaciones fieles, por incluir aspectos ficticios que en un sentido lógico estricto son falsos (respecto a situaciones observacionales o

⁶⁸ Anouk, Barberousse y Pascal, Ludwig “Models as Fictions”, en *Fictions in Science Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, Nueva York, Routledge, 2009.

experimentales), en general tienen virtudes predictivas que tienen valor práctico en la ciencia.

Barberousse y Ludwig sostienen que algunos modelos representan situaciones ficticias, es decir, situaciones que no son y no pueden ser (por todo lo que conocemos) ubicadas en nuestro mundo. Los modelos son ficciones, en el sentido de que nos ofrecen una situación que no es real. La ficción se opone aquello que es posible y realizable en el marco de lo establecido por las leyes de la naturaleza conocidas y aceptadas.

Los autores consideran que todas las representaciones caen en alguno de estos dos tipos de representaciones: las que directamente presentan las circunstancias en las cuales son producidos o las que son usadas para afirmar la verdad de ciertas proposiciones, y las que no presentan de manera directa lo mencionado. La representación directa es definida por ellos en los siguientes términos: A representa directamente a B si cualquier interprete de A puede entender por sí mismo que A representa a B, si está lo suficientemente familiarizado con el estilo de representación instanciado por A en donde el estilo de representación es el conjunto de todas las convenciones usadas en la producción de A.

El contenido intencional de una ficción es una propiedad de contexto, es decir, la propiedad instanciada por cada contexto o situación donde el intérprete de la ficción puede imaginar que está cuando entiende de manera correcta la ficción. El ejemplo que estos autores ofrecen al respecto es el libro *La Máquina del Tiempo*, de H.G. Wells, en donde no existe una aparente contradicción con una teoría científica, pues las contradicciones sólo surgen si se hacen inferencias al confrontar la historia con teorías físicas o metafísicas. En la ficción se incluyen diferentes teorías (físicas, metafísicas, biológicas, psicológicas, etc.), las cuales han sido desarrolladas en diferentes contextos y por tanto los símbolos usados pueden tener distintas denotaciones a las del contexto actual. La ficción puede variar dependiendo del contexto, pero de acuerdo con los autores no es propiamente una contradicción porque es consistente internamente y no se contrapone o compara con teorías científicas externas al contexto interno en donde se ubica la ficción.

Aunque los autores sostengan que los modelos representan situaciones ficticias, tienen claro que no son ficciones. Es decir, los modelos difieren de las ficciones, porque modelar está severamente constreñido por los datos experimentales y el conjunto relevante de las teorías (de fondo) aceptadas. En cambio, las ficciones no dependen de los datos ni requieren ceñirse a teorías aceptadas; en la ficción puede imaginarse cualquier tipo de situación que no implique la plausibilidad de los datos.

Most models entertain intricate and often conflicting relationships with accepted theories. Even when a model deliberately conflicts with the current theories applying to the same phenomena, these theories

are necessary components of its scientific utility, because they make up its semantic and epistemic background. No model stands by itself, so to say, it backs onto vast amounts of theoretical and empirical knowledge, which provide it with concepts, more or less confirmed hypotheses, and, in some cases, physico-mathematical representational tools like equations and their typical solutions or “templates”. Background theories and empirical data give their meaning to the various symbols used in models. These symbols may be linguistic, algebraic, diagrammatic, or pictorial.⁶⁹

Los modelos pueden ser muy útiles y ofrecer representaciones satisfactorias porque permiten realizar predicciones (éstas serían muy difíciles de desarrollar sin los modelos) o porque sirven para ver los detalles de los fenómenos que están fuera del alcance de las teorías de fondo (teorías que poco pueden decir en torno a situaciones concretas relevantes para los científicos). De acuerdo con estos autores, para que los modelos puedan ofrecer una mayor información se requiere una explicación cognitiva (cómo se hicieron los modelos a partir de las teorías de fondo, así como las implicaciones cognitivas y de visión de mundo de las teorías de fondo) y semántica (en qué aspectos se relacionan o no los modelos hechos a partir de las teorías de fondo) entre los modelos y las teorías de fondo. Si esta explicación no existe, los modelos pueden llegar a concebirse como representaciones inservibles al no brindarnos información, lo cual resulta paradójico y contradice todo lo que se conoce acerca del uso de los modelos en cada una de las ramas de la actividad científica.

Los modelos prospectivos son aquellos construidos con hipótesis que se subsumen a los datos empíricos existentes; a su vez estas hipótesis se deducen de principios teóricos. Estos modelos sirven en situaciones en donde no puede establecerse un vínculo empírico entre los datos y las teorías. Al respecto, los autores sostienen:

In a situation of epistemic incompleteness in which the connection between data and theories is hardly made, a first strategy is to imagine a context, that is, to build up a model, in which: (a) some hypothesis subsume the available empirical data, and (b) these hypothesis are deducible from theoretical principles. This type of model may be called “prospective” because it arises when a scientist projects herself, so to speak, into future time where the hypothesis will be justified by theoretical reasons. Bohr's model of the atom is an example of a prospective model in this sense.⁷⁰

Los modelos prospectivos, según dichos autores, permiten la exploración de nuevas áreas, así como la

⁶⁹ Anouk, Barberousse y Pascal, Ludwig, *op.cit.*, 2009, p. 61.

⁷⁰ *Ibidem*, p. 69.

invención de novedosas conexiones entre áreas ya exploradas. Un modelo prospectivo exitoso establece una inferencia dentro de una situación aún meramente imaginaria, en la cual las hipótesis del modelo se justifican por principios teóricos, y por tanto, los datos empíricos que aún son sorprendentes o sólo extraños pueden ser por completo explicados. Estos modelos obligan a modificar la teoría usada hasta el punto que se puedan integrar sus principios teóricos con las hipótesis del modelo. En los modelos prospectivos se representan situaciones en las cuales las teorías se modifican de acuerdo con situaciones imaginadas por estos modelos.

En los modelos de datos -también denominados modelos puente- por Barberousse y Ludwig, los datos se suponen como diferentes de lo que se sabe que eran y las teorías de fondo se mantienen. Estos autores sostienen que cuando un físico quiere subsumir los datos disponibles bajo una teoría, primero tiene que transformarlos para que se ajusten a las formas matemáticas disponibles. Lo anterior sólo puede hacerse con la ayuda de ficciones representadas en los modelos de datos. Los modelos puente permiten descripciones de aquellos principios que la teoría no puede trazar desde las ecuaciones matemáticas. Mediante ficción, es decir, al instanciar una propiedad con cierta intención en un contexto determinado, dichos modelos plantean aquello que el físico imagina acerca de lo que los datos describen, por ejemplo, planos infinitos.

Las hipótesis que construyen a los modelos de datos, incluso en el caso de idealizaciones controladas, difícilmente pueden justificarse por alguna teoría disponible. Su justificación es sólo pragmática porque sólo está dada por la utilidad exitosa y no por justificaciones internas de la teoría. Los modelos resultantes son útiles ficciones que representan situaciones imaginarias en las que los datos empíricos tendrán una forma matemática desde el principio. Aunque su justificación sólo sea pragmática, la virtud pragmática de dichos modelos radica en su capacidad predictiva, además, permite hacer cálculos de manera sencilla.

La caracterización del modelo de datos difiere de cómo se han definido estos modelos en el capítulo I, tanto en su versión tradicional como en la que realiza van Fraassen. Es decir, en esta versión del modelo, los autores sostienen que los datos se suponen diferentes a los ya conocidos u obtenidos; en cambio, en la versión de van Fraassen, el modelo de datos se construye a partir de los datos obtenidos y conocidos. La principal virtud de los modelos, según la postura de Barberousse y Ludwig, es la capacidad de prospección, por lo que a pesar de la ficción en los modelos estos no dejan de ser útiles en la ciencia. La exposición anterior muestra cómo en la ciencia hay momentos en que las conexiones

entre los datos y la teoría difícilmente se logra, por lo que resulta necesario construir un modelo. Esta situación ofrece modelos prospectivos que incluyen aspectos ficticios, los cuales permiten establecer las conexiones entre los datos y la teoría que algunos casos no se dan sin ayuda de las ficciones. A pesar de que en estos casos los modelos sean considerados ficciones aún mantienen funciones pragmáticas, prospectivas y representacionistas, según los autores.

4. Los modelos ficticios: la idealización y la abstracción matemática son procesos distintos de construcción de modelos

Margaret Morrison (2009) sostiene que hay varias maneras en las que se usan representaciones irreales para modelar el mundo físico (representaciones irreales en el sentido de que utilizan modelos ficticios). En algunos casos se construyen modelos que se sabe que son falsos, no en el sentido de que involucran idealizaciones o abstracciones de propiedades reales o situaciones (porque la mayoría involucran dichos aspectos), sino en el sentido de que describen una situación que -sin importar cuántas correcciones se agreguen-, no puede ser físicamente verdadera acerca del fenómeno en cuestión. Los modelos del éter de Maxwell son un caso: nadie entendió o creyó que la estructura del éter consistía en ruedas estáticas y vórtices rotantes; aun así, este tipo de modelos fueron la base de la primera derivación de las ecuaciones de los campos magnéticos de Maxwell.

Morrison plantea la necesidad de conocer la variedad de formas en las que los modelos pueden representar el mundo si se planea tener fe en esas representaciones como fuentes de conocimiento. Por ejemplo, la autora afirma: decir que la fuerza es un concepto abstracto que existe sólo en los modelos nos deja sin ninguna luz acerca de cómo lidiar con las fuerzas físicas del mundo.⁷¹ Establecer de manera general los modelos como ficciones tampoco nos dice mucho, porque justamente se hace una generalización de tipos de modelos que no siempre utilizan los mismos elementos, sean éstos ficciones, idealizaciones, abstracciones, etc. Se requiere, siguiendo a la autora, de una distinción fina que logre capturar los varios tipos de representaciones irreales usados en la construcción de modelos y cómo dichas representaciones funcionan de una forma explicativa o predictiva. La representación ficticia es sólo un tipo.

Un aspecto relevante en el trabajo de Morrison es establecer la distinción entre modelo ficticio, idealización y abstracción matemática; cada una de estas categorías transmiten conocimiento a pesar de

⁷¹ El concepto de *fuerza* raramente se puede ver representado en el mundo de la manera en que dicho concepto es entendido por la física.

la presencia de supuestos altamente irrealistas acerca de sistemas concretos. El modelo ficticio intenta de maera deliberada hacer afirmaciones imaginarias similares al sistema (target) que se pretende modelar. A diferencia de la antes expuesta, en la caracterización de ficción de Morrison sí existe una similitud con los datos y con el sistema *target*. En cambio, las idealizaciones distorsionan u omiten propiedades que con frecuencia no son necesarias para el modelo en cuestión. La abstracción (típicamente matemática en su naturaleza) introduce un tipo específico de representación que no parece dispuesta a la corrección y que es necesaria para la explicación/predicción del sistema (*target*) que se quiere modelar.

[...] Although there is a temptation to categorize any type of unrealistic representation as a “fiction”, I have argued that this would be a mistake, primarily because this way of categorizing the use of unrealistic representations play in producing knowledge. That said, fictional models can function in a significant way in various stages of theory development. However, in order to uncover the way these models produce information we need to pay particular attention to the specific structure given by the model itself. There is no general method that captures how fictional models function or transmit knowledge in scientific contexts; each will do so in a different way, depending on the nature of the problem. By separating these models from other cases of abstraction and idealization we can recognize what is distinctive about each and in doing so understand how and why unrealistic representations can nevertheless provide concrete information about physical world.⁷²

Las distinciones establecidas por Morrison aclaran diferencias entre las representaciones irreales en la ciencia (modelos ficticios, idealizaciones, abstracciones). La autora resalta la relevancia de los modelos ficticios tanto en el desarrollo de teorías como en la transmisión del conocimiento en el ámbito científico. Aclarar que la abstracción y la idealización son procesos cognitivos distintos en la construcción de modelos permite reconocer que estas maneras de concebir representaciones irrealistas aportan información relevante acerca del mundo físico.

5. Los objetos de la física vs. el estructuralismo según Katherine Branding (el enfoque estructuralista de los objetos de la física)

Katherine Branding (2011) propone modificaciones relevantes a la interpretación semántica de

⁷² Margaret, Morrison, “Fictions, representations and reality”, en *Fictions in Science Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, Nueva York, Routledge, 2009, p. 133.

las teorías que rechaza reglas de correspondencia y se apoya en modelos. Tradicionalmente, los modelos pueden entenderse, en el sentido Tarskiano, como aquellos que satisfacen los axiomas de la teoría y por tanto son verdaderos, es decir, en cada modelo las afirmaciones de la teoría son verdaderas. Sin embargo, la conexión entre la teoría y los fenómenos se hace mediante modelos, y éstos no funcionan sólo en el modo Tarskiano como instanciadores de verdad, sino también como representaciones del fenómeno.

La visión suppeana semántica de las teorías sostiene que la teorización científica consiste en una jerarquización de teorías y sus modelos; ésta sirve de puente entre el alto nivel de la teoría y el bajo nivel de los fenómenos. La conexión entre cada nivel de la jerarquía se hace por medio de una relación isomórfica entre los modelos en un primer nivel y en el siguiente. El isomorfismo es un mapa que preserva toda aquella estructura relevante. Esta jerarquización se basa en la idea de que la relación entre los modelos encontrados en los diferentes niveles produce un efecto tipo cascada, asegurando que el más alto nivel de la teoría aplica hasta el más bajo del fenómeno; es decir, se preserva la estructura que viene de las teorías hasta los fenómenos.

La primera propuesta de modificación que Branding ofrece a la interpretación semántica de las teorías es la relajación del requerimiento de isomorfismo,⁷³ ya que no toda la estructura relevante necesita preservarse en el mapeo de los modelos en un nivel para los modelos del otro nivel. Es decir, la relación de isomorfismo entre los modelos en los diferentes niveles mantiene un vínculo más general de la estructura compartida entre ellos.

[...] Elaine and I have argued that the crucial philosophical claim is simply that the models at one level share structure with the models at the next level in the hierarchy – we can leave the particular type of morphism, and the type of structures between which we are mapping, open in our general philosophical analysis and investigate it on a case-by-case basis. Making precise the structures and morphisms doing the work may – and in our opinion likely will – depend on features peculiar to a given case. The notion of “shared structure” is weak enough to accomodate this variety, and strong enough to capture the philosophical import of what is common across all cases.⁷⁴

Para Branding, la propuesta de los modelos mediadores de Margaret Morrison (1999) es uno de los

⁷³ Respecto a las críticas al isomorfismo, en el siguiente capítulo se analizarán las de Mauricio Suárez, las cuales son de las más relevantes dentro de la discusión, así como en la postura empirista de van Fraassen, quien dedica varios pasajes en el libro *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective* (2008) a dar respuesta a las mismas.

⁷⁴ Katherine, Branding, “Structuralist approaches to physics: Objects, models and modality”, en *Scientific Structuralism*, Dordrecht Heidelberg Londres Nueva York, Springer, 2011, p. 45.

primeros ataques a la visión suppeana semántica de las teorías. Esta aportación argumenta que, a partir de la práctica de la ciencia, se observa que hay modelos que median entre el alto nivel de la teoría y los modelos de datos, los cuales por sí mismos no se derivan ni del alto nivel de la teoría ni de los modelos de datos. La propuesta de la función de mediación de algunos modelos ataca la visión semántica de las teorías y la jerarquización suppeana, pues su concepción no están situados a la mitad de la jerarquización estructural entre la teoría y el mundo; además, aquellos caracterizados como mediadores tienen cierta autonomía entre la teoría y los modelos de datos, mientras que en la visión suppeana siempre derivan de la teoría y van hacia los datos empíricos organizados en los modelos de datos.

Branding critica la idea de la autonomía de los modelos cuya función es mediar; la autora sostiene que no deben ser autónomos, sino que deben incluirse en la jerarquización y ser tratados dentro de una visión semántica de las teorías modificadas. Incluir a los modelos que median requerirá más modificaciones a la jerarquía, las cuales tendrán importantes consecuencias para el realismo estructural y ocasionarán problemas porque existiría una proliferación de modelos (que incluiría modelos mediadores incompatibles) en las que la relación entre estructuras compartidas sería multidireccional.

These mediating models share features with both the data models and the high level theory, but are also partially independent or autonomous, this autonomy being crucial to the importance of mediating models in scientific theorizing. I will not rehearse the arguments for this view here: I think they are persuasive and I accept the need for partially autonomous mediating models in our account of scientific theorizing.⁷⁵

La segunda propuesta de modificación sostiene que se debe insertar un nivel en la jerarquización para los modelos que median (modelos mediadores), en los cuales existe un espacio en blanco para los mismos porque no hay una teoría en la que ellos puedan funcionar como instanciadores de verdad.

El trabajo de Branding no considera cómo se conectan los modelos de datos con los fenómenos o con el mundo. La autora reconoce que la representación científica se lleva a cabo en dos pasos: 1) al establecer el vínculo entre la teoría en nivel alto (principios, axiomas) y los modelos de datos, y 2) al determinar el vínculo entre los modelos de datos y el mundo, para Branding el primero, pues para un estructuralista las relaciones entre estructuras compartidas son más directas de resolver en el primer paso de la representación científica; en cambio, en el paso 2, la relación entre el mundo y los modelos de datos no está clarificada, es decir, no se puede establecer con claridad que tengan una relación en la

⁷⁵ *Ídem.*

que compartan la misma estructura. Si bien, Branding está en búsqueda de una postura realista en torno a esta conexión, cabe remarcar que el vínculo entre el modelo de datos y el mundo físico tampoco es abordado por van Fraassen, quien, al sostener una postura también estructuralista, enfrenta el mismo problema. El modelo de datos captura por medio de mediciones los aspectos relevantes del fenómeno; por ello, es el modelo que mejor podría representar la relación entre los datos obtenidos a partir de ciertas teorías de fondo -los cuales sirven como guía o plataforma para realizar las mediciones- y el fenómeno o el mundo. Parece que hay dificultades para establecer la relación entre el modelo de datos y el fenómeno en una relación isomórfica, aunque el primero sea quien provee de todos aquellos datos duros y objetivos acerca del fenómeno

Branding trabaja en la función representativa de las teorías mediante modelos considerando sólo el vínculo entre los modelos de la teoría (en nivel alto) y los modelos de datos:

[...] If our high level theory is to have a representational function, then this will be achieved in two steps. First, there is the link between the models of the high level theory and the data models, achieved through the hierarchy via the relationship of shared structure. Second, there is the link between the data models and the world, but in this paper I will not discuss how this crucial step in representation is to be achieved, or how and when we may be justified in asserting that it has been achieved.⁷⁶

Aunque la relación entre el modelo de datos y el fenómeno/mundo no ha sido adecuadamente analizada, Ronald Giere⁷⁷ afirma que en algunos casos el modelo de datos es mucho más complejo y que incluso puede en sí mismo representar un fenómeno o situación, la cual se abordará con más detalle al final del presente capítulo.

La tercera propuesta de modificación considera abandonar el requerimiento de que la teoría sea axiomatizada o incluso axiomatizable en principio. Al igual que van Fraassen, Branding está interesada en la física en la cual las teorías del nivel alto son altamente matematizadas y se presentan en términos de ecuaciones de movimiento o ecuaciones de campo. Su propuesta es colocar en el primer lugar de la jerarquía tanto las ecuaciones como las soluciones en lugar de la axiomatización y los modelos.

Para clarificar lo anterior, utiliza el siguiente ejemplo:

As an example, consider Newton's laws of motion and his law of universal gravitation. Given these, we can solve the general problem what orbits are possible for two point masses interacting via the law of

⁷⁶ *Ibidem*, p. 47.

⁷⁷ Taller “The Experimental side of Modeling 3”, San Francisco State University, sep. 16-17, 2011.

gravitation, and indeed using Newton's own argument we can move from point masses to extended spherical bodies of uniform density. Thus, we arrive at the generic solution of the two-body problem. The set of models thus obtained prescribes all and only the possible paths for theoretical Newtonian gravitational objects in two-body motion. These theoretical models are connected to the data models (models constructed from observations of the motions heavenly bodies) via the hierarchy, in which mediating models serve such purposes as enabling the move from theoretical Newtonian gravitational objects to inhomogeneous extended masses that are not perfectly spherical.

With the semantic view thus modified, we retain the insight that the connection between high level theory and data is to achieved via structural relationships between collections of models, these collections forming a hierarchy.⁷⁸

Siguiendo a Branding, las modificaciones a la interpretación semántica de las teorías permiten mantener las conexiones entre la teoría en su nivel alto y los datos, a través de relaciones de estructuras compartidas entre las colecciones de modelos. Estas modificaciones resuelven, por ejemplo, el problema de las leyes de movimiento y gravitación universal de Newton, en el que las órbitas son posibles para dos cuerpos con masa que interactúan vía la ley de gravitación, al construir un modelo que prescribe sólo las rutas posibles para los objetos teóricos gravitacionales newtonianos en movimiento de dos cuerpos.

5.1. Estructuralismo y representación

En términos generales, el estructuralismo que defiende una interpretación semántica de las teorías sostiene que la relación de estructuras compartidas (las teorías y los modelos construidos a partir de éstas comparten estructuras matemáticas) va en dirección descendente (desde la teoría se establece una relación con el fenómeno y los datos que se tienen de él) hacia el fenómeno (en la postura empirista) o hacia el mundo (en la postura realista); en ambos casos, se afirma que las teorías en física capturan la estructura ya sea de los fenómenos o del mundo.

El realismo estructural y el empirismo estructural sostienen:

1. Con sus teorías, la ciencia aspira a brindarnos una representación exacta de la estructura del mundo.
2. Tenemos buenas razones para creer que la ciencia es exitosa respecto de su aspiración.

Ambas posturas defienden que las teorías permiten representar con exactitud el mundo o el fenómeno a

⁷⁸ *Ibidem*, p. 48.

través de estructuras matemáticas y que la ciencia en su historia ha logrado obtener representaciones científicas exitosas y, por tanto, ha logrado realizar representaciones exitosas de la estructura del mundo.

Branding sostiene que los tipos de objetos teóricos del nivel alto de la teoría se muestran en la estructura compartida de los modelos de dicha teoría. Para esta autora, las teorías hablan en primera instancia no sobre objetos físicos particulares, sino sobre tipos de objetos teóricos. Si bien se usan las teorías para hablar de objetos físicos, como planetas, estrellas, electrones, átomos, quarks, etc., en realidad hablan acerca de “el electrón”, “estrellas tipo G”, “el átomo de hidrógeno”. Lo que aparece en las teorías son tipos de objetos teóricos no objetos particulares (como por ejemplo, “este electrón”).

El estructuralismo que Branding defiende es el siguiente:

The structuralist view that I advocate claims that the way in which the theory succeeds in talking about this theoretical kinds is via the shared structure of the models of the theory: the shared structure between various models of the theory express the theoretical kinds of objects that are the subject of the theory. With respect to the above example [ejemplo que viene en la cita 68], the claim is that the shared structure of the models constituting the generic solution of the Newtonian equations present⁷⁹ the kind of object “Newtonian inertial-gravitational for the case of the two body problem.”⁸⁰

El estructuralismo de Branding propone un realismo estructural modificado (que surge de las críticas y objeciones que encuentra tanto en el realismo estructural como en el empirismo estructural). Al considerar que los modelos de datos son estructurados a partir de elecciones humanas o están centrados en el agente, siempre existe un elemento de libertad en cómo se separan los datos de los patrones que genera ruido o dudas. Esto implicaría que existen diferentes modelos de datos compatibles con los mismos fenómenos. Siguiendo a la autora, parece que abandonar el isomorfismo y permitir una proliferación de estructuras no deja claro qué significa decir que el más alto nivel de la teoría representa certeramente la estructura del mundo. Por ello resulta razonable aclarar desde el principio qué significa

⁷⁹ Branding prefiere utilizar el término *presentar* en lugar de representar, porque le parece importante hacer la distinción entre objetos teóricos y sus realizaciones físicas. Para ella es importante mantener un nivel de descripción en la cual una teoría física puede describir electrones como un tipo teórico, sin tener que tratar a los electrones como objetos que son físicamente realizables en este mundo. El hecho de hablar de electrones o unicornios no implica que los traigamos a la existencia como si fueran objetos físicos. Por ello prefiere hablar en términos de *presentar* versus *representar* para mostrar dicho contraste.

Si bien una teoría presenta tipos de objetos teóricos, también busca representar objetos físicos particulares. De hecho, cualquier postura realista debe con seguridad subscribirse a un papel sólido representacionista para las teorías.

⁸⁰ *Ídem*.

representar con exactitud las estructuras o estructura del mundo antes de hablar de realismo estructural.

El empirismo estructural también enfrenta problemas al respecto, porque tampoco queda claro qué significa representar de forma exacta (fielmente) la estructura del fenómeno. En los dos capítulos anteriores se ha visto cómo el empirismo estructural de van Fraassen supone una estructura al considerar una teoría representacionalista de la medición y cómo argumenta mediante el isomorfismo se puede lograr un “ajuste” que permite representar con exactitud estructuras del fenómeno empírico.

La siguiente cita expone por qué Branding rechaza tanto el realismo como el empirismo estructurales:

I reject both the above realist and empiricist versions of structuralism for two reasons. First, I think that we have good reason to suppose that there is no such thing as the structure of the world or the structure of the phenomena. [...] Second, I think that set up like this both realist and empiricist project are doomed to failure because of the problem of representation – the problem of what justifies us in believing that our theories represent de world or the phenomena. In the realist case, we will have only the “no miracles” intuition to justify our claim that our theories represent the structure of the world, and in the empiricist case it seems that in order to achieve representation van Fraassen (for example) ends up collapsing the distinction between data models and the phenomena, which it seems to me collapses empirical adequacy of a theory with respect to the phenomena into organizational adequacy of the theory with respect to the data models.⁸¹

Siguiendo a Branding, defender un estructuralismo, no resulta plausible, ya que no hay buenas razones para defenderlo. Esta filósofa prefiere hablar de los objetos de la física que presentan propiedades cuantificadas (cantidades) y no de estructuras. El principal problema en la representación científica se encuentra en establecer el vínculo entre el modelo de datos y el mundo, porque al parecer dichos modelos no comparten las mismas estructuras que los otros niveles de la teoría y sus modelos. La conexión entre modelo de datos y el fenómeno no es clara ni está bien definida; no se puede argumentar cómo es que los modelos de datos pueden representar un fenómeno o situación en particular o en general.

Aun cuando van Fraassen aclara que mediante el isomorfismo se pueden representar con exactitud las estructuras o estructura del mundo, ya se ha visto en capítulos anteriores que la defensa de su estructuralismo supone de manera previa una estructura del fenómeno conocible y representable

⁸¹ *Ibidem*, nota 24, p. 57

matemáticamente, suposición que arraiga un brillo realista, tanto por concebir estructuras en los fenómenos, como por defender una teoría representacionista de la medición que captura en datos dichas estructuras. La caracterización de la representación científica desde un empirismo estructuralista parece apoyarse más en supuestos realistas y dejar de lado aspectos empíricos, como son los modelos de datos y de experimentos, así como la observación con instrumentos como el microscopio de electrón.

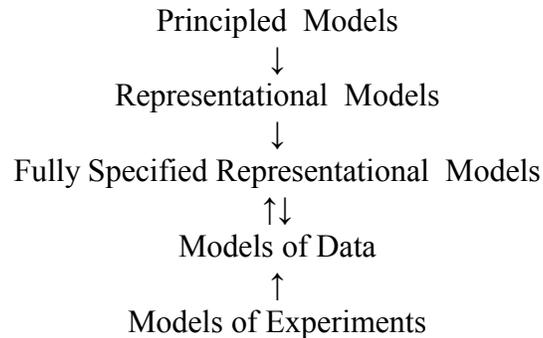
6. Modelos de datos, modelos de experimentos

Ronald Giere propone una concepción de los modelos basada en el agente, en la cual, todas las afirmaciones acerca de la naturaleza o respecto a cómo se conduce la ciencia deben incluir al menos una referencia implícita a las acciones del agente, en las que se incluyen sus propuestas, sus metas, etc. Los modelos deben ser vistos como contruidos y empleados en contextos particulares para propósitos específicos, aunque esto no significa que se puedan considerar aspectos de los modelos aparte de cualquier aplicación especial. En su visión intencional de la representación en la ciencia, la formula es la siguiente: 1. Agente -intención-; 2. uso del modelo; 3. representar una parte del mundo; 4. para algún propósito.

Giere analiza la jerarquía tradicional de los modelos (que lleva un orden descendente desde la teoría hasta el modelo de experimento), en la que el primer lugar lo ocupan los modelos de principios (por ejemplo, las leyes de Newton); éstos se conectan (en línea descendente) con los modelos de representación (modelo de dos cuerpos en un sistema gravitacional), los cuales se construyen con los principios de la teoría a los que se agregan condiciones posteriores e incorporan varias abstracciones, idealizaciones, etc. A éste le sigue, en el siguiente nivel dentro de la jerarquía, el modelo específico completo, en el que se representa un sistema real particular (modelo elíptico de la órbita de Marte); éste es específico porque incorpora principios generales de los modelos anteriores de la jerarquía, así como los datos específicos del modelo de datos (las elipses de Kepler) que están al siguiente nivel de la jerarquía. El modelo de experimento (modelo del universo de Tycho aplicado) es el último de la jerarquía; éste brinda precisión al modelo de datos al ofrecer datos derivados de experimentos con aparatos de medición.

Diagrama de un nuevo retrato canónico

A (New) Canonical Picture



El modelo de experimento (véase Figura 1) se construye a partir de procesos físicos que consisten en aparatos conectados al mundo de una manera controlada (*input*) y que producen un tipo de datos (*output*) diseñados para ser interpretados como conocimiento de ese aspecto del mundo que es investigado.

Giere sostiene que, en principio, es posible hacer una distinción entre los datos y el modelo de datos; esta diferencia también la hace van Fraassen, quien considera al segundo como una construcción a partir de los datos duros en el que ya hay una selección de datos relevantes del sumario o colección. Esta distinción es relevante para Giere, porque en la práctica científica el *output* de un experimento actualmente es considerado como un modelo de datos y no sólo como datos. La diferencia con van Fraassen está en el proceso de los datos en un modelo, ya que en la práctica científica actual se construye dentro del experimento: en el modelo del experimento (el cual no contempla van Fraassen) los datos son procesados en un modelo. Por lo que para entender el modelo de datos se requiere del modelo del experimento.

Giere establece cuatro funciones relevantes respecto al modelo de datos:

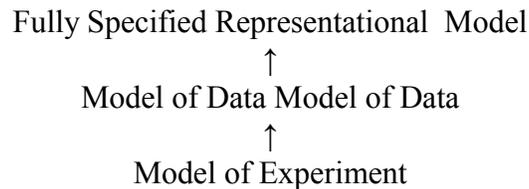
1. Producir un modelo de un experimento requiere salirse del contexto de la jerarquía tradicional de los modelos propuesta por Suppes.
2. El *output* operativo de la mayoría de los experimentos contemporáneos no son los datos sino el modelo de datos.
3. Entender el modelo de datos requiere tener un buen modelo del experimento.
4. En los contextos “ricos en datos” el modelo de datos bien puede funcionar como un modelo

representativo.

Tomando en cuenta las 4 funciones anteriores, la jerarquía propuesta por Giere es la siguiente:

Diagrama de una pintura alternativa posible

An Possible Alternative Picture



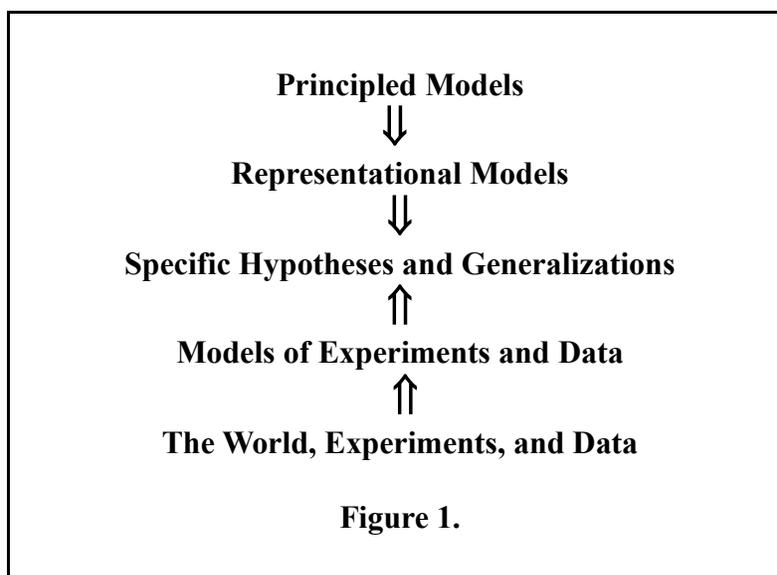
La propuesta de Giere es una concepción intencional de la representación en la ciencia que requiere de los agentes científicos y sus intenciones. Sin embargo, estimando que cualquiera puede ser usado para representar cualquier otro, no puede existir una ontología unificada de los modelos.

La figura 1 es analizada por Giere para argumentar que, por sí mismos, los modelos de principios (leyes o principios más generales de la teoría que también incluyen condiciones específicas) no pueden representar nada.

Figure 1 provides a sketch of relationships among theories, models, and the world that is both hierarchical and principle-centered. In this schema, statements that are often taken to constitute theories function here to define the principled models. Such statements are automatically true of the principled models. To invoke a canonical example, what are called “Newton’s Laws of Motion” are for me principles that define a class of highly abstract models (principled models) and thus characterize a particular mechanical perspective on the world. Newton’s Laws are not “Laws of Nature” in the sense of universal generalizations over things in the world. They cannot by themselves be used to make any direct claims about the world. They don’t “represent” anything.⁸²

⁸² Ronald, Giere, “An Agent-Based Conception of Models and Scientific Representation”, en *Synthese*, vol.172, 2010, p. 270.

Figura 1



Al agregar condiciones y restricciones a los modelos de principios (Principled Models, Figura 1) es posible generar familias de modelos que pueden usarse para representar cosas en el mundo. En el citado ejemplo de Newton, al agregar la ley de gravitación se pueden generar modelos representativos de las interacciones de dos cuerpos en el espacio tridimensional. Añadiendo más condiciones, eventualmente se consigue un modelo completo específico de algún sistema particular real de dos cuerpos, como es el caso de la Tierra y la Luna.

Las distintas modificaciones que se realizan en el proceso de modelaje en torno a los modelos de principios quedan clarificadas en la siguiente cita:

Note that here what is usually called Newton's "Theory" consists only of the statements of the three laws. These alone define the principled models. The Law of Universal Gravitation is thus not a part of the core theory. It constitutes a specification of a kind of representational model. Other specifications include linear motion in a uniform gravitational field (a falling body) and a linear restoring force (a harmonic oscillator). Thus the hierarchy of models for classical mechanics is in fact a multiple hierarchy defined by various possible force functions. Once a force function is added, the concept of force itself drops out of the specification of a representational model, replaced by such things as mass, distance and velocity.⁸³

⁸³ *Ibidem*, p. 271.

Los modelos representativos específicos completos se verifican en comparación con los modelos de datos, no directamente con los datos que son parte del mundo. Es decir, es una comparación entre modelos, no entre modelos y el mundo. El paso de los datos hacia el modelo requiere de modelos de experimentos; además, involucra estadística y otras técnicas de procesamiento de datos, así como información empírica de otras fuentes, etc. Por ello que la Figura 1 deberá incluir las complejidades del movimiento de los datos hacia el modelo.

Los modelos representativos o representacionales se pueden construir desde los modelos de datos además de otros de tipo empírico y una variedad de técnicas matemáticas. Respecto a cuál sería la relación deseada entre el modelo representacional y el mundo, Giere sostiene que, en el caso de los modelos complejos moderados, - en especial aquellos que están definidos en términos de funciones continuas-, las afirmaciones sobre un ajuste perfecto no pueden justificarse. Este impedimento se debe a que el único modelo que puede ser afirmado como aquel que exhibe un ajuste perfecto al mundo tendrá que ser un modelo que ajusta todo perfectamente. Es decir, uno que ajusta todos sus elementos a los aspectos del mundo, no sólo un ajuste entre el modelo representacionalista y el modelo de datos.

Cabe anotar que para Giere los modelos son objetos (sean éstos abstractos o físicos), es decir, aun cuando los modelos abstractos -para ser definidos-, utilicen recursos lingüísticos, el autor no los considera entidades lingüísticas, sino objetos definidos a través de herramientas del lenguaje. Por ello, los modelos no pueden ser falsos o verdaderos porque éstas son propiedades sólo para las entidades lingüísticas.

En defensa de una comprensión de la ciencia basada en el agente Giere sostiene lo siguiente:

Moving to an agent-based understanding of science and invoking an intentional conception of scientific representation provides a useful framework for understanding the role of models in science that is in line with recent cognitive theories of language.⁸⁴

La propuesta de Giere basada en el agente, así como las modificaciones a la jerarquía en los modelos con la introducción del modelo de experimento, ofrecen una alternativa para establecer el vínculo entre el modelo de datos y el fenómeno en la representación científica, una visión intencional de la representación científica centrada en el agente y en el uso que éste hace de los modelos en la actividad científica apoyada en las recientes teorías cognitivas del lenguaje. La representación científica desde esta visión rescata los aspectos empíricos experimentales de la actividad científica y su capacidad de

⁸⁴ *Ibidem*, p. 280.

construir modelos que representen aspectos de los fenómenos.

En el capítulo siguiente se analizará el isomorfismo como criterio de representación y la crítica de Mauricio Suárez a dicho criterio. Se caracterizará la reciente aportación de van Fraassen a la discusión sobre medición, en donde ésta es considerada como criterio (junto con los modelos y el modelaje) para establecer un sustento o sustrato empírico.

CAPÍTULO IV

Contra el isomorfismo como criterio de representación y la propuesta de van Fraassen sobre la medición como criterio para establecer bases empíricas

1. Introducción

Un grupo de filósofos de la ciencia asumen que una de las metas de la ciencia es representar el mundo físico (fenómeno), entre los cuales están van Fraassen (1981, 1987), Friedman (1982), Kitcher (1983), Giere (1988), Morrison y Morgan, Cartwright (1999), y Morrison (2001). A pesar de que estos autores consideren que representar los fenómenos sea una de las metas de la ciencia, dan por sentado en buena medida el significado del término “representación” y al parecer, no existe una caracterización unívoca de la *representación en la ciencia* ni de sus límites. En la década de 1980, Ian Hacking, -el principal disidente en torno al papel central que la filosofía de la ciencia tradicionalmente le ha otorgado a la representación científica-, llevó la discusión sobre la representación en términos de intervención hacia la experimentación en la ciencia principalmente a raíz de su libro *Representar e intervenir*. Sin embargo, desde hace diez años el tema de la representación científica ha vuelto a ser importante para algunos autores en la filosofía de la ciencia, particularmente porque se ha buscado proveer una caracterización amplia y satisfactoria en términos tanto de los medios que típicamente se utilizan en la ciencia para representar como de los elementos constitutivos que la definen. Entre tales autores destaca particularmente Mauricio Suárez (2003).

Vimos en el primer capítulo que para van Fraassen el isomorfismo es el criterio que establece la representación científica, sin embargo, algunos autores como Suárez han articulado críticas sistemáticas contra su propuesta. Particularmente, Suárez ha señalado que no debe considerarse al isomorfismo como criterio único de representación científica, y evalúa en qué medida el isomorfismo es un criterio adecuado para caracterizar la idea de representación científica. Las objeciones propuestas por este autor han servido dentro de la filosofía de la ciencia de pauta para reactivar la discusión sobre el tema de la representación científica. Parte de la respuesta de van Fraassen al tipo de críticas como las de Suárez la desarrolla en su libro *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective* (2008), en donde particularmente da respuesta a las objeciones de Suárez respecto al isomorfismo como criterio para la

representación científica. Particularmente, uno de los puntos fuertes de Suárez es que ha logrado clarificar los componentes inferenciales constitutivos de la representación científica, además de considerar que ha existido y aún existe una gran variedad de tipos y estilos de representación científica. Esta crítica analiza con detalle varios argumentos que sostienen que el isomorfismo no es un criterio suficiente para la representación científica.

En un artículo posterior, van Fraassen (2012) reformula el papel que le otorgaba a la medición científica y ahora la considera como criterio para establecer bases empíricas en la ciencia. Específicamente identifica y establece dichas bases en términos de cantidades que son determinadas en un procedimiento de medición (por ejemplo, la fuerza del vacío, el *momentum* en la mecánica cuántica, partículas, etc.), por lo que la medición ahora es parte constitutiva de la ciencia empírica. Al sostener lo anterior van Fraassen utiliza ejemplos concretos en los cuales tanto la medición y el modelaje establecen bases empíricas desde su enfoque empirista sobre la medición. En dicho artículo, se enfoca en la parte práctica-experimental de la medición, lo que amplía sus nociones previas que había desarrollado en *Scientific Representation* sobre la medición científica en donde no integraba los modelos de experimentos dentro de su caracterización de modelos (teórico, datos, superficie), como se vio en los capítulos I y III. Desde mi punto de vista, el principal aporte de van Fraassen en este artículo es considerar a la medición como criterio para establecer bases empíricas porque complementa sus caracterizaciones sobre la medición expuestas en el capítulo I.

Desde la *Imagen científica* y también en *Scientific Representation*, van Fraassen ha considerado al isomorfismo como el criterio que establece la relación entre estructuras en las representaciones científicas, aunque como vimos en la segunda obra refina esta idea. El isomorfismo es un criterio muy estricto, el cual sostiene que una estructura se puede incrustar o incluso substituir en otra; y establece una equivalencia o paralelismo entre estructuras matemáticas. El isomorfismo es el criterio que van Fraassen ha defendido como aquel que garantiza la adecuación empírica, la representación científica y las bases empíricas en la ciencia; y es un concepto matemático que establece una relación de isomorfismo entre estructuras matemáticas. Esto bien podría entenderse como si dichas estructuras compartieran la misma estructura. A raíz de las mencionadas críticas de Suárez, por lo tanto, la analogía que propone van Fraassen, como lo vimos en el capítulo I, con su metáfora del *perspectivismo isomórfico* que sugiere un paralelismo entre el isomorfismo en el arte y en la ciencia parece ser de alcance mucho más limitado de lo que pretende van Fraassen. Dado lo complejo y lo importante de las

críticas de Suárez respecto del alcance del isomorfismo para entender a la representación científica, dedicaré la mayor parte del presente capítulo a su análisis, y en el siguiente capítulo me detendré a exponer dos casos de representación no isomórfica para apoyar la idea de *perspectivismo anamórfico*. Uno de los puntos centrales de la crítica de Suárez es que muestra lo limitado de considerar al isomorfismo como *criterio* de representación. Van Fraassen en el artículo mencionado (2012) ha adoptado a la medición científica como *criterio* para establecer bases empíricas en la ciencia, por lo que será analizado al final del presente capítulo. El punto aquí es que van Fraassen al adoptar ahora a la medición científica como criterio empírico no escapa del todo a las críticas de Suárez de lo limitado que es el isomorfismo como criterio de representación, ya que para van Fraassen la medición sigue siendo representación isomórfica. En otras palabras, van Fraassen al darle un nuevo papel a la medición científica como criterio de la naturaleza empírica de la ciencia, conserva su idea original de que medir es representar isomórficamente, por lo cual gracias a Suárez se exhibe lo estrecho que es ese nuevo criterio de empirismo que van Fraassen propone. El objetivo en este capítulo es analizar en detalle este par de puntos, de manera que veremos como con base en Suárez se puede decir que la medición como producto no siempre es isomórfica, lo cual exhibe la poca amplitud de la metáfora del *perspectivismo isomórfico* de van Fraassen.

2. *Contra el isomorfismo y la similitud*

La postura de Mauricio Suárez (2003) respecto a la representación científica es criticar las caracterizaciones de la representación científica que se basan en los criterios de similitud y de isomorfismo. Entre los autores que defienden dichos criterios, destacan Ronald Giere (1988, 1999) y van Fraassen (1994). Para Suárez, estos autores pretenden naturalizar⁸⁵ radicalmente el concepto de *representación*, porque tratan los propósitos e intenciones⁸⁶ de los científicos como no esenciales para esta noción. La similitud y el isomorfismo son comunes pero no medios universales de la

⁸⁵ “But we must be very careful to distinguish clearly the different strands of naturalism present in his work. There are at least two clearly distinct claims: there is a weak form of naturalism that merely claims that science can study representation; and a stronger form of naturalism, which I employ in this article, that claims that the relation of representation does not involve in any essential way agent’s intentions and value judgements, but appeals only to the facts. Over the years Giere has moved from a defence of both claims to a defence of the weaker claim only. So his recent defence of naturalism (Giere, 1999a, forthcoming) is compatible with my rejection of the naturalistic theories of representation discussed in this article. (I am indebted to illuminating discussions with Ron Giere and Bas van Fraassen on this point.)” . Mauricio, Suárez, “Scientific representation: Against similarity and isomorphism”, en *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 17, núm. 3, 2003, p. 229.

⁸⁶ El trabajo de Giere (2010), analizado en el capítulo III, propone una comprensión de los modelos basados en el agente, sus intenciones, etc., estas aportaciones son posteriores a las críticas expuestas por Suárez (2003) en el presente capítulo.

representación, es decir, no son constituyentes de la representación científica. Suárez los expone de la siguiente manera:

- La concepción de similitud de la representación [sim]: A representa a B si y sólo si A es similar a B. La similitud es una generalización de la semejanza; dos objetos se asemejan entre ellos si existe una similitud entre su apariencia visual. Este criterio no afirma que la semejanza sea una condición necesaria y suficiente para la representación, es una condición débil que ni requiere ni incluye similitudes en la apariencia visual o un límite significativo del grado o porcentaje de similitud.
- La concepción de isomorfismo de la representación [iso]: A representa a B si y sólo si la estructura ejemplificada por A es isomórfica a la estructura ejemplificada por B. El isomorfismo es definido sólo como la relación matemática (relación isomórfica) entre estructuras extensionales. Esta definición presupone que dos objetos están en una relación de representación ejemplificada por estructuras isomórficas. Si bien, para Suárez, esta relación enfrenta dificultades (expuestas en los 5 argumentos que se analizarán en las siguientes páginas), el isomorfismo tiene la virtud de adquirir sentido en la representación objeto-a-objeto fuera de las matemáticas puras; asimismo, exige que haya una función uno-a-uno que mapea todos los elementos del dominio de una estructura con los elementos del dominio de la otra estructura y viceversa, mientras que también se preservan las relaciones definidas en cada estructura. El isomorfismo es una relación que preserva el mapeo entre los dominios de dos estructuras extensionales y su existencia prueba que el marco relacional de las estructuras es el mismo.

En la representación científica, Suárez establece una distinción entre la fuente (*source*) y el objetivo (*target*) de la representación, en donde la fuente es el vehículo de la representación y el objetivo su objeto. Existen casos en la ciencia en los cuales la fuente es un objeto físico concreto, así como su objetivo; la fuente es un sistema físico y el objetivo es un estado de la naturaleza; el objetivo es un fenómeno físico y la fuente una entidad matemática, una ecuación. Según Suárez, para los casos antes mencionados, la representación de la fuente y el objetivo se cumple cuando -y sólo cuando- “La fuente representa al objetivo”; es verdadero cuando es verdad que la fuente representa al objetivo.

Además de los anteriores, existen otros tipos de medios representacionalistas en ciencia. Las fuentes de las representaciones científicas pueden ser objetos físicos concretos, sistemas, modelos, diagramas, imágenes o ecuaciones; sucede lo mismo con los posibles objetivos (*targets*). Lo único que tienen en común es que todos incluyen putativamente entidades reales en el mundo y, según Suárez, no parece que exista una propiedad particular que permita a alguno de éstos realizar una u otra función.

Afirma que una teoría sustantiva de la representación científica debe proveernos de condiciones necesarias y suficientes para que una fuente represente un objetivo (*target*). Estas condiciones no se extienden a las representaciones comunes, es decir, no se requiere que una teoría de la representación científica sea capaz de explicar cómo los humanos han desarrollado la capacidad de generar representaciones o imágenes mentales del mundo. Al respecto, Suárez considera que una teoría de la representación sólo sirve para demarcar o explicar qué es una representación o, en su defecto, qué no lo es.

[...] a good theory may provide us with insight into some of the features that are normally associated with scientific representations such accuracy, reliability, truth, empirical adequacy, explanatory power; but again we shall not assume that this is a requirement. In other words, we shall not require a theory of representation to mark or explain the distinction between accurate and inaccurate representation, or between a reliable and unreliable one, but merely between something that is a representation and something that is not.⁸⁷

La interpretación de Suárez de una teoría sustantiva de la representación científica descansa en la intuición de que la fuente A es una representación de un objetivo B si y sólo si A, o algunas de sus partes o propiedades, constituyen una imagen reflejo de B, o algunas de sus partes o propiedades. A y B son entidades que ocurren en el mundo como lo describe la ciencia; de esta manera, una concienzuda investigación científica de todos los hechos acerca de A y B y sus relaciones debe establecerse para fijar la representación. La representación científica es una relación factual (relación de hecho en donde no intervienen las intenciones del agente) entre entidades en el mundo, la cual puede ser estudiada por la filosofía de la ciencia. Dado que la relación de representación es factual, no puede involucrar juicios esenciales o irreductibles por parte de los agentes. Suárez interpreta el naturalismo como la postura que puede naturalizar un concepto, reduciéndolo sólo a los hechos sin que dependa de los propósitos del agente o juicios de valor: “the two theories that I criticize here are naturalistic in this sense, since whether or not representation obtains depends on facts about the world and does not in any way answer to the personal purposes, views or interests of enquires. These theories have the virtue of guaranteeing the objectivity of scientific representation which, unlike linguistic representation, perhaps, is certainly not a matter of arbitrary stipulation by agent”.⁸⁸

⁸⁷ *Ibidem*, p. 226.

⁸⁸ *Ibidem*, p. 226 y 227.

Para Suárez, las alternativas naturalistas están equivocadas y, por tanto, ninguna teoría naturalista sustantiva de la representación científica puede tener éxito. Asimismo, considera al isomorfismo y la similitud, como criterios utilizados por teorías representacionistas naturalistas: ambos criterios fracasan por las mismas razones. Para que sea sustantiva, una teoría de la representación requiere, según el autor, que la relación entre la fuente y el objetivo (*target*) sea universal y no arbitraria, para obtener una representación científica exitosa, como lo explica la siguiente cita:

What sort of factual relation must hold between A and B for A to represent? For instance, what relation must hold between the graph of a bridge and the bridge it represents? It is obvious that not arbitrary relation between A and B will do: for there all sorts of relations that obtain between A (e.g. the graph) and B (e.g. the bridge), which are irrelevant to the representational relation itself - such as “being and artifact”, or “being at least 10 cm long”. The success of the project of naturalizing representation is crucially dependent upon finding a suitable type of relation that can fill in this role. For the theory of representation to be substantive in my sense it is required that this relation obtains universally between the source and the target, in all instances of successful scientific representation.⁸⁹

En toda representación, según Suárez, se deben distinguir los medios de los constituyentes. Los medios son aquellos recursos teóricos utilizados para establecer la representación científica: el isomorfismo y la similitud son dos de ellos; hay otros como, la ejemplificación, la instanciación, la convención, la verdad. Los medios de la representación son caracterizados por Suárez de la siguiente forma: en cualquier momento, la relación R entre A (fuente/*source*) y B (objetivo/*target*) es el medio de la representación de B por A si y sólo si, en ese momento, R es considerada activamente en la búsqueda de propiedades de B al razonar acerca de A. En torno a los medios, si un objeto A representa un objeto B, entonces A debe mantener alguna relación particular con B, la cual permite inferir algunos rasgos de B al investigar a A. Por ejemplo, la representación de las fases del espacio del movimiento de una partícula clásica. En este caso, la gráfica puede ser similar respecto al movimiento de la partícula, después se razona acerca de la gráfica para inferir rasgos del movimiento de las fases del espacio a partir del estudio de la similitud entre movimiento de la partícula y la gráfica. Los medios de la representación son aquellas relaciones entre A y B que se usan de forma activa en el proceso de inquirir a B al razonar sobre A. Para Suárez, los medios de la representación no son exactamente transparentes,

⁸⁹ *Ibidem*, p. 227.

ya que no siempre son explícitos. En muchos casos, los medios actuales de la representación pueden parecer opacos para el no iniciado. Por ejemplo, una fotografía de una cámara de burbujas, una carta astronómica o una ecuación del movimiento; en todos los casos, para entender de manera correcta qué y cómo se cimientan inferencias desde las fuentes (*sources*) acerca de sus objetivos (*targets*) representacionalistas invariablemente se requiere de juicios informados y hábiles.

Los constituyentes son las propiedades inferidas del objetivo (*target*) a través del razonamiento de las propiedades de la fuente (*source*), por medio de la relaciones establecidas por los medios, en este caso, por la similitud o el isomorfismo. Los constituyentes de la representación son caracterizados así: la relación *R* entre *A* y *B* es el constituyente de la representación de *B* por *A* si y sólo si la *R* obtenida es necesaria y suficiente para que *A* represente a *B*. No obstante, para Suárez, en la práctica el propósito principal de la representación es el razonamiento sustituto o sucedáneo, es decir, que la representación frecuentemente está en lugar de o sustituye. Esta forma de ver a la representación como un razonamiento sustituto la toma de Chris Swoyer (1991), quien sostiene que la representación depende de la existencia de una estructura común entre la representación y aquello que se representa; esto es importante porque nos permite hacer razonamientos (inferencias) acerca de la representación para poder trazar conclusiones en torno al fenómeno que ésta describe.

Una distinción entre los medios y los constituyentes de la representación se puede trazar considerando el hecho de que se usa una relación (la similitud) entre *A* y *B* para inferir las propiedades de *B* al razonar en torno a las propiedades de *A*, pero esto no significa que se afirme que esta relación es lo que constituye la representación de *A* por *B*, sino que puede existir una relación más fuerte y escondida entre *A* y *B*. Si por ejemplo, se supone, que *A* (estructura de espacio fase) representa a *B* (el movimiento de una partícula en el espacio) en virtud del isomorfismo (medios), esto parece ser consistente con el hecho de que algunas veces al razonar exitosamente en torno a *B* bajo la base de *A* no se requiere emplear o referir de forma explícita al isomorfismo de *A* y *B*, pues se puede utilizar otra relación en cambio. Por ejemplo, en alguna ocasión particular puede ser posible investigar sobre el movimiento de una partícula investigando sólo la similitud (propiedades compartidas, como aparición de la aleatoriedad) con la gráfica de espacio fase. En este caso, parece que los medios de la representación (similitud) fallan en concordar con sus constituyentes profundos (isomorfismo).

El ejemplo anterior parece indicar que al menos se requiere una noción de *similitud* simple, común, para tener la idea de parecido o similar que permite encontrar las semejanzas de la gráfica del

ejemplo, cuando afirma que se puede conocer algo del movimiento de la partícula al investigar únicamente la similitud con la gráfica de espacio fase.

3. Cinco argumentos contra el isomorfismo y la similitud

Los cinco argumentos que desarrolla Suárez contra la similitud y el isomorfismo atacan diversos aspectos respecto de la representación. En términos generales estos argumentos sostienen, que por sí mismos ni la similitud ni el isomorfismo pueden constituir la representación.

El **argumento de la variedad** sostiene que, por la simple observación, ni la similitud ni el isomorfismo pueden aplicarse a toda la variedad de usos de los dispositivos representacionistas que aparecen en la práctica científica. De acuerdo con Suárez, para realizar un análisis que considere los medios de la representación en términos de alguno de estos dispositivos tendría que ser demasiado estricta y local a casos específicos, pero no generalizar que mediante la observación se puede establecer ya sea la similitud o el isomorfismo. El **argumento lógico** afirma que los criterios de similitud e isomorfismo carecen de alguna de las propiedades lógicas de representación, porque la representación es asimétrica, intransitiva e irreflexiva. El **argumento de la mala representación** plantea que la similitud o el isomorfismo no aclaran sobre qué bases se puede establecer cuándo existe una mala representación (representación deficiente) o una representación imprecisa. El **argumento de no necesidad** expone que tanto la similitud como el isomorfismo no son necesarios para la representación, pues fallan en algunos casos de representación exitosa. El **argumento de la no suficiencia** afirma que estos criterios no son suficientes para la representación porque dejan afuera la direccionalidad esencial de la representación.

El **argumento de la variedad**. El primer argumento sólo plantea que por medio de la observación simple no se puede establecer ni a la similitud ni al isomorfismo como criterios de representación si se habla de los medios de la representación en los términos antes expuestos. Ninguno de los dos criterios puede aplicarse a toda la variedad de formas de representar que usa la ciencia considerando únicamente a la observación.

El **argumento lógico**. El segundo argumento sostiene que ninguno de los criterios poseen propiedades lógicas (simetría, transitividad, reflexibilidad) de representación. Tanto la similitud como el isomorfismo asumen que la representación es en esencia una relación objeto-objeto en lugar de una relación mundo-al-objeto o relación estado mental-al-objeto; por ello, ambas asumen que los dos *relata*

de la relación de representación son entidades estructuradas similarmente, dotadas de propiedades. Esto explica por qué estos criterios han sido atractivos en particular para los defensores de la interpretación semántica de las teorías, pues las teorías son interpretadas no como entidades lingüísticas sino como estructuras.

Suárez defiende que la representación es esencialmente no simétrica; una fuente no se representa por su objetivo (*target*) sólo en virtud del hecho de que la fuente es representada por el objetivo (*target*). Existen contextos en los que se logra una simetría, pero incluso en esos casos no es automática. Es decir, el hecho de que una fotografía represente a una persona en un contexto no significa que la persona sea la de la fotografía; no porque una ecuación representa un fenómeno, el fenómeno es la ecuación. La representación es no transitiva y no reflexiva, una teoría de la representación tiene que considerar estos rasgos antes mencionados.

La similitud es reflexiva y simétrica, mientras que el isomorfismo es reflexivo, simétrico y transitivo. Un vaso de agua es similar a sí mismo a cualquier vaso de agua que sea similar a éste. De igual forma, para el isomorfismo una estructura geométrica (un cuadrado) es isomórfica a sí misma y a cualquier otra estructura (un cuadrado de diferente tamaño) que es isomórfica a ésta y a cualquier estructura que es isomórfica a la estructura que es isomórfica a ésta (un cuadrado aun mayor). El isomorfismo preserva la estructura del cuadrado, aun cuando éste cambie de tamaño, ya que la estructura geométrica se mantiene. Desde la postura de Suárez, la única manera de eliminar este argumento sería mostrar que tanto la similitud como el isomorfismo tienen las propiedades lógicas de la representación en general, lo que parece no ser el caso.

El argumento de la mala representación. En el tercer argumento la similitud y el isomorfismo no toman en cuenta los fenómenos en donde falla el objetivo (*target*) y/o hay imprecisión en el mismo. La mala representación es un fenómeno frecuente en la representación ordinaria; ésta aparece en dos maneras: la primera es el fenómeno de errar el objetivo de la representación, es decir, falla el objetivo porque con frecuencia se supone erróneamente como algo que en realidad no representa; por ejemplo, una persona que se disfraza de alguien reconocido en la que se enfatiza en los aspectos relevantes del personaje y no de quien está disfrazado. En este argumento interviene la distinción entre ver-lo y la representación; frecuentemente se considera que ver-lo es posterior a la representación, es decir, cualquier cosa que se vea es porque existe una representación de la misma afuera. Esta idea no supone que ya se vio algo semejante a lo representado con anterioridad y que el ver-lo en este caso no es

posterior a la representación sino anterior. La falla en este caso radica en no considerar que la representación viene desde el agente que ve y que establece la relación de representación con el fenómeno. Para Suárez, la habilidad y la actividad que se requiere para evocar la experiencia de ver-lo -es decir, la apreciación de un agente de la calidad representacionalista de la fuente-, no es una consecuencia de la relación de representación sino una condición para ella. Ver-lo es una condición para que se pueda determinar una relación de representación. Una teoría general de la representación tiene que tomar en cuenta al agente de calidad que lo-vio y por ver-lo ha podido establecer una relación que-vio y por tanto instanciar una representación.

La segunda forma de mala representación tiene que ver con el fenómeno de la imprecisión. La mayoría de las representaciones son imprecisas en algún grado en ciertos aspectos. El criterio de similitud no puede lidiar con esta forma de mala representación, porque no puede ofrecer respuesta a la divergencia entre las predicciones y las observaciones tomando en cuenta los valores de las propiedades que se han obtenido. La similitud sólo responde a las propiedades que comparten (o no) el objetivo (*target*) y la fuente.

Tanto para la similitud como para el isomorfismo, si un modelo no es una representación (que es isomórfica, para el caso del isomorfismo) de su objetivo entonces, no es, una representación. La similitud requiere, aunque no necesariamente, que el objetivo y la fuente compartan todas sus propiedades. La noción de *similitud* puede intervenir en torno al tipo de imprecisión que surge cuando la representación de un fenómeno es incompleta o idealizada; por ejemplo, una que muestre rasgos particulares, como una representación altamente idealizada del movimiento clásico de avión sin fricción. Sin embargo, esto no siempre permite comprender la representación incorrecta en la ciencia, porque la imprecisión con frecuencia es cuantitativa más que cualitativa; hay imprecisiones en los valores obtenidos y en las inferencias (predicciones) que se hacen a partir de éstos. Por ejemplo, la mecánica newtoniana sin correcciones relativistas sólo puede ofrecer una representación correcta aproximada del sistema solar, ya que algunos movimientos no serán de la forma tal como lo predijo la teoría, incluso si todos los rasgos del sistema solar estén para reafirmarlo.

Respecto a esta forma de mala representación, medir y detectar de errores en los datos permite determinar las imprecisiones cuantitativas en las representaciones, lo que ofrece una mejor comprensión de la representación incorrecta en la ciencia, dado que la imprecisión es frecuentemente cuantitativa.

El **argumento de la no-necesidad**. En el cuarto argumento, la similitud y el isomorfismo no

son necesarios para la representación porque la relación de representación que se obtiene mediante la similitud o el isomorfismo falla. Para Suárez, resulta trivial considerar que cualquier objeto es, en principio, similar a cualquier otro; sostener lo anterior significa que, si todas las posibilidades lógicas lo permiten, entonces cualquier objeto es similar a cualquier otro en un infinito número de maneras; es decir, existe un número infinito de propiedades que se pueden trazar que serán compartidas entre dichos objetos. En este sentido, la similitud será necesaria para la representación pero sólo de una manera trivial, porque no sólo será una condición de necesidad para la representación sino también para la mala representación, dado que no puede dar respuesta a la divergencia entre las predicciones y las observaciones, tomando en cuenta los valores de las propiedades que se han obtenido.

En páginas anteriores se vio que se requiere (al menos) una noción simple de *similitud* para establecer el parecido entre la gráfica y los movimientos de la partícula, así como un criterio mínimo de similitud para razonar en los medios de representación, aunque la similitud puede llevar a una mala representación si no se contemplan las inconsistencias cuantitativas. La representación debe contemplar las correcciones cuantitativas y cualitativas para su mejor comprensión.

Para el argumento de no-necesidad, el autor especifica el requerimiento de hacer una restricción sólo a aquellas propiedades o aspectos de la fuente y el objetivo que son “relevantes” a la relación de representación; es decir, A representa B si y sólo si A y B son similares en aspectos relevantes. Aun con tal restricción, para Suárez, no resulta ser el caso que cualquier fuente sea en principio trivialmente similar en aspectos relevantes a aquello que representa. El criterio de relevancia debe ligar de manera presumible a la relevancia con la relación representacionalista, porque de no ser así, no habría razón para pretender que la similitud relevante sea necesaria para la representación. Lo que se obtendría sería que A representa a B si y sólo si A y B son similares en aquellos aspectos en los cuales A representa a B, pero esto nos llevaría a un análisis circular de la representación.

Suárez plantea ejemplos como los siguientes: una ecuación los signos en un papel, es igualmente disimilar al fenómeno que representa. Para el isomorfismo, una ecuación como la del estado de difusión cuántica requiere una interpretación desde la física cuántica de los términos; un matemático bien puede resolver la ecuación, pero los movimientos descritos no representarán lo mismo que para quien interpreta estos movimientos desde la mecánica cuántica. El caso de la mecánica newtoniana provee una representación del sistema solar que no es isomórfica al fenómeno del movimiento planetario; esta mecánica, sin las correcciones relativistas generales, es empíricamente inadecuada.

Suárez ofrece una posible solución tanto para la similitud como para el isomorfismo, si ambas nociones sólo se concentraran en subconjuntos de propiedades o subestructuras que corresponden a aquellos movimientos que se han predecido de manera correcta. Aunque en los casos de imprecisión cuantitativa no funcionaría, ya que la mecánica newtoniana no describe ningún movimiento planetario actual de una manera cuantitativamente precisa sin las correcciones relativistas generales que son posteriores.

El **argumento de la no-suficiencia**. El quinto argumento afirma que la similitud y el isomorfismo no son suficientes para la representación, porque la relación de representación por medio de la similitud y el isomorfismo falla. Este argumento ataca la direccionalidad de la representación por medio de la similitud y el isomorfismo. El objeto que constituye la fuente del modelo no tiene direccionalidad *per se*; en una relación representacionalista genuina la fuente lleva al objetivo. Ni la similitud ni el isomorfismo pueden capturar esta capacidad de la relación representacional si no consideran un cuestionamiento informado y competente en torno al vínculo entre la fuente y el objetivo.

Suárez ofrece el ejemplo de la ecuación de la difusión de estado cuántica, para localizar una partícula en la que se describe el recorrido aleatorio del movimiento en una estructura de espacio fase. Esta estructura no representa el movimiento de la partícula, sino sólo una representación de éste, -llámese el movimiento del vector, el espacio de Hilbert que corresponde al estado de la partícula-. Representar una representación de x cosa no equivale a representar x cosa; de ahí que la pregunta acerca de cómo x cosa es representada matemáticamente en primera instancia resulta pertinente. Por tanto, Suárez defiende que el isomorfismo no es en general suficiente para la representación. El caso de la representación de un fenómeno (bien establecido) por medio de una ecuación matemática es, de forma paradójica, quizá el caso más difícil para el isomorfismo. Al respecto, Suárez aclara que no está afirmando que el isomorfismo sea irrelevante para los modos matemáticos de representación en la ciencia, sino sólo que el isomorfismo no constituye la representación. El autor reconoce que los modos matemáticos de representación son muy útiles para establecer la exactitud de las representaciones.

4. La medición como criterio de representación

Van Fraassen (2012)⁹⁰ establece a la medición y al modelaje como criterios para establecer bases empíricas en la ciencia cuando se identifican las cantidades físicas que serán medidas. Analiza un

⁹⁰ Bas C., van Fraassen, "Modeling and measurement: The criterion of empirical grounding", en *Philosophy of Science*, vol. 79, núm. 5, diciembre, 2012, pp. 773–784.

ejemplo de la mecánica cuántica para mostrar cómo la medición depende de la teoría,⁹¹ para esta afirmación se apoya en una de las funciones de la medición que expone Kuhn (1961) en un artículo central para el estudio de la medición en la ciencia: sirve para confirmar teorías. La otra función expuesta por Kuhn, no es considerada por van Fraassen; dicha función sostiene que en la ciencia las mediciones han servido muchas veces para construir nuevas teorías a partir de los datos obtenidos mediante procesos de medición y experimentación en la ciencia.

Para van Fraassen resulta una demanda fundamental en la práctica científica que las cantidades teóricas que aparecen en los modelos sean vinculadas clara y fácticamente a la medición, es decir, que el modelaje y la medición establezcan bases empíricas al cumplir dicha demanda. Dentro de su proyecto empirista, resulta de fundamental importancia el problema de las cantidades que no son observables (entidades teóricas que no pueden ser observadas muchas veces ni a través de procesos experimentales complejos), para establecer criterios sólidos en las prácticas científicas respecto de las bases empíricas. Esto con el fin de apoyar su proyecto empirista estructural. Un ejemplo de lo anterior resulta ser la mecánica cuántica; si bien en términos generales es reconocida como una teoría exitosa, esta es un conjunto de teorías que tratan y estudian el comportamiento de las partículas elementales. Este conjunto de teorías involucra en sus modelos cantidades teóricas que no pueden ser observadas (son detectadas); por ello, la medición y el modelaje sirven para establecer base o fundamento empírico de las cantidades físicas, lo que resulta relevante para un empirismo que considera a la observación⁹² simple (sin ayuda de instrumentos) uno de los principales criterios para establecer la distinción entre lo observable y lo teórico. Para el empirismo de van Fraassen, es importante explicar y caracterizar la manera en que la ciencia establece bases empíricas en teorías que estudian el comportamiento de las partículas elementales. El empirismo tradicionalmente ha considerado una fuente de conocimiento aquello que se puede conocer a través de la experiencia y los sentidos, sobre todo el sentido de la vista, el cual desde los griegos ha sido el sentido por excelencia, a pesar de que el sentido del olfato es el que nos llega de forma más directa y el que nos vincula con el mundo externo de una manera más instantánea.

Según van Fraassen, la relación entre teoría y fenómeno involucra una interacción entre teoría, modelaje (modelos) y experimento, en la cual tanto la identificación de parámetros como la de

⁹¹ La medición se realiza dentro de un marco teórico, es dependiente de la teoría que requiere obtener ciertas mediciones. Al respecto, el capítulo I expone la caracterización de van Fraassen sobre la medición científica.

⁹² La distinción teórico-observacional que van Fraassen defiende ya fue caracterizada en el capítulo I junto con los ajustes realizados posteriormente a *La imagen científica* (1981).

operaciones físicas pertinentes para la medición son determinadas en conjunto. Se puede establecer una base o fundamento empírico si se muestra que el criterio (la medición) es teóricamente dependiente en los procesos que identifican las cantidades que se pretenden medir: Las cantidades físicas se identifican en los procesos de medición que dependen de las teorías que los constituyen, es decir, no existe una independencia en la medición. Esta función de la medición (si se quiere considerar como un criterio, como pretende van Fraassen) tiene que considerarse teóricamente dependiente, pues se realiza en el contexto de una teoría específica y en ella los datos obtenidos a través de la medición son relevantes.

Según el autor, existen cuestionamientos pertinentes en una operación específica utilizada para obtener información o generar números: ¿qué se considera como medición? y de ser así, ¿qué es lo que se mide cuándo se realiza una medición? Pero más importante es preguntarse ¿cuál es la base para responder a dichas preguntas, y en qué sentido es dicha base independiente de la teoría?

Undoubtedly theories are tested by confrontation of the empirical implications or numerical simulations of their models with data derived from measurement outcomes. But for this confrontation to occur, it must first be a settled matter what count as relevant measurement procedures for physical quantities represented in those models. What settles that? I submit that the classification of a physical procedure as measurement of a parameter in such a model or simulation is itself provided by at least a core of the theory itself:

Whether a procedure is a measurement and, if so, what it measures are questions that have, in general, answers only relative to a theory.

[...]

those answers, provided by theory, are part of what allows a theory to meet the stringent requirement of empirical grounding.⁹³

Van Fraassen reconoce que las teorías confrontan las implicaciones empíricas de sus modelos con los datos obtenidos por los resultados de medición, pero para que ello ocurra primero se debe identificar teóricamente lo que se considera como un procedimiento relevante de medición para las cantidades físicas representadas en los modelos. El procedimiento experimental de la práctica de medición se establece de manera teórica desde su inicio al identificar las cantidades físicas y medirlas de acuerdo con las pautas que marca la teoría o teorías. La medición se realiza al establecer su procedimiento físico; este procedimiento está en el núcleo de la teoría (es dictado por la teoría para identificar y medir

⁹³ Bas C., van Fraassen, *op. Cit.*, 2012, p. 774.

las cantidades físicas relevantes para la teoría), de ahí que la medición sea teóricamente dependiente.

En mecánica cuántica,⁹⁴ hubo discusiones en torno a la incompatibilidad operacional de lo que se considera como un procedimiento de medición debido a los diseños que permitían factiblemente hacer mediciones tanto de la posición como del momento de una partícula. Es la teoría la que dicta lo relevante a medirse, así como los parámetros de lo que se considera como medición, y pues también es la que establece el procedimiento que identifica las cantidades físicas que se medirán y cómo se medirán a través de dicho procedimiento; ambos aspectos son lo que le da rigor científico y precisión a la mecánica cuántica.

Respecto a la discusión sobre la posición de una partícula, van Fraassen sostiene lo siguiente:

As stated, this could still allow that the procedure is indeed a measurement of simultaneous position and momentum values, with the qualification that the outcomes do not have any practical value. But the conclusion is stronger: the procedure does not count as a measurement at all. If that is so, then it is theory that decides on not only what is measured, if a measurement is made, but what counts as a measurement in the first place. It is the criterion for the latter judgment that is first given true rigor and precision in the foundations of quantum mechanics.⁹⁵

Considerando que se mida sólo el momento dentro de un dominio delimitado de aplicación, aun así existirían medidas simultáneas de posición; esto implicaría que se tendrían mediciones derivadas de aquellas cantidades definidas en la posición y en el momento, pero no habría observables. Es decir, se tendrían mediciones putativas que no son mediciones de algún observable, así que de acuerdo a lo que atañe a la teoría no habría mediciones de nada, no habría, por tanto, mediciones. Tomando en cuenta lo anterior, un requerimiento fundamental para que un procedimiento sea una medición -respecto a la teoría- es que haya una cantidad a ser medida.

Van Fraassen establece estos puntos respecto a la teoría cuántica:

a) Las cantidades de la teoría son aquellas que aparecen como parámetros o variables en los modelos provistos por la teoría para la representación del fenómeno.

⁹⁴ Un artículo de reciente aparición (2013) sostiene que el principio de incertidumbre no se encuentra en la medición; esta noción de *medición* (denominada delicada) no realiza mediciones de posición y momento, sino dos diferentes propiedades interrelacionadas del fotón. Este artículo no pretende derribar el principio de incertidumbre; el experimento muestra que el proceso o acto de medir no es siempre el que genera la incertidumbre. Geoff, Brumfiel, “Common Interpretation of Heisenberg's Uncertainty Principle Is Proved False”, en *Nature*, septiembre, 2012, p. 1. [<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=common-interpretation-of-heisenbergs-uncertainty-principle-is-proven-false>, 1/02/2013].

⁹⁵ *Ibidem*, p. 778.

b) El hecho de que un procedimiento determinado cuente como un procedimiento de medición (y el aparato físico cuente como un aparato de medición) depende de que exista una cantidad de la teoría en la cual el procedimiento así como lo modelado por la teoría cumplan el criterio a).

Por tanto, no sólo lo que el procedimiento mide (si es el caso de ser un procedimiento de medición), es una cuestión de medición, cuya respuesta está generalmente determinada por la teoría, y no sólo por las características operacionales o empíricas.

Para van Fraassen, las teorías deben establecer bases o fundamentos empíricos; esto involucra tareas tanto teóricas como empíricas. La relación que existe entre las teorías y los fenómenos es entre teorías, modelos y experimentos, en la que se determinan tanto los parámetros como las operaciones físicas pertinentes para la medición. Los rasgos relevantes para determinar qué es una medición son los siguientes:

a) Una teoría no puede ser menos (parecida a ser) verdadera (o empíricamente adecuada) que cualquiera de sus extensiones más fuertes.

b) Cuando una teoría aún es débil en general puede haber muy poca o nula evidencia relevante para apoyarla.

Para van Fraassen, dichos rasgos son relevantes, porque si no existe evidencia relevante es posible diseñar experimentos cuyos resultados puedan establecer evidencia. En el diseño de tales experimentos se tienen que trazar las implicaciones de la teoría y con frecuencia una teoría débil que no tiene evidencia relevante para apoyarla no tiene tantas implicaciones.

Los dos puntos anteriores establecen tanto los parámetros como los procedimientos posibles (experimentos) que pueden realizar mediciones científicas. En ambos casos los rasgos relevantes se establecen desde la teoría; los rasgos indican cuando hay medición, porque ésta es acorde con la teoría en cuestión. La medición está totalmente vinculada y depende de una teoría dada; además, sólo podrá hacer referencia a las cantidades que mide dentro de su marco teórico específico.

Determination of the value of a physical quantity, represented in a model of certain phenomena, must be by measurements performed on those phenomena—but with the outcomes related to the model by calculations within the theory itself.⁹⁶

La representación científica ofrece una gran variedad de ejemplos a lo largo de la historia de la ciencia que muestran las complejas y variadas formas de realizar representaciones científicas; el capítulo

⁹⁶ *Ibidem*, p. 783.

siguiente pretende mostrar las paradojas de la representación científica exponiendo algunos ejemplos en la ciencia: el caso de la representación en la microfotografía del siglo XIX, la discusión en torno a la representación en los sistemas de análisis geoespacial y el caso de la medición en el experimento de Michelson que sirvió como método para la estadística. Así también, se muestra cómo el anamorfismo es utilizado para representar en el arte y que el isomorfismo no es la única manera que existe para representar.

CAPÍTULO V

Paradojas de la representación

1. Introducción

En el capítulo I he analizado la idea de medición como una forma de representación científica en el proyecto empirista de van Fraassen, la cual incluye tres tipos de modelos (teórico, de datos y de superficie). Así también, he analizado en el capítulo II los supuestos realistas en las teorías representacionistas de la medición que sustentan que medir es representar. Asimismo, exploré en el capítulo III las recientes discusiones en torno al uso de modelos en la ciencia en la representación científica. Para la representación científica, el criterio de isomorfismo ha sido considerado en el capítulo anterior bajo la crítica de Mauricio Suárez para finalizar con los aportes más recientes que van Fraassen ha realizado al tema de la medición, el modelaje y la representación científica como formas para establecer bases empíricas al definir las cantidades que serán medidas. A lo largo de la investigación se establecieron diversas maneras de representación no isomórfica tanto en la ciencia como en el arte, por ejemplo, el modelo de experimento, modelos a escala, diagramas, etc. Resultó relevante mostrar algunos ejemplos que amplían y complementan los casos en torno a la medición como *proceso*, más que como *producto*. Así mismo dichos ejemplos permitieron mostrar que la representación científica no se agota con la metáfora del perspectivismo isomórfico.

Suárez mostró que no toda representación científica relevante es isomórfica. Sin embargo, desde mi punto de vista la crítica de Suárez a van Fraassen podría ser complementada con el fin, no sólo de ajustar la propuesta de van Fraassen, sino sobre todo para obtener una imagen más amplia de los múltiples papeles que juega la representación en la medición científica tanto en su sentido de *producto* como en su sentido de *proceso*. Lo que quiero mostrar es que el uso de la fértil metáfora entre la representación perspectivista en el arte y la ciencia es limitada en dos sentidos: no toda técnica perspectivista en el arte es isomórfica (entre otras, también hay anamorfismo); y no toda representación perspectivista científica se restringe al *producto* de la medición (también está presente en el *proceso*). A diferencia del tipo de análisis elaborado en los capítulos anteriores sobre estos temas y asuntos relacionados, en este capítulo mostraré a través de ejemplos, ya sea de historia de la ciencia y tomados del arte, que hay una manera cognitivamente muy importante de conocer objetos o procesos físicos a

través de mediciones que involucra un *perspectivismo anamórfico*; pero también un *perspectivismo isomórfico* (aunque no exclusivamente) en algunas etapas de los *procesos* de medición científica. En otras palabras, ya que se ha establecido adecuadamente que no todas las representaciones en un *proceso* de medición son isomórficas es relevante explorar el posible papel cognitivo del *perspectivismo anamórfico* en los procesos de medición científica, ya que plausiblemente se puede sostener que éste permita tener distintos y complementarios puntos de vista del objeto o fenómeno medido. El objetivo del presente capítulo es ilustrar lo anterior mediante cuatro ejemplos en donde se muestra que también se puede utilizar una metáfora de *perspectivismo anamórfico* para arrojar luz sobre la representación del *producto* de la medición científica; y por otra parte, para iluminar las complejas interacciones de la representación isomórfica durante el *proceso* de medición. Este uso de ejemplos si bien no sigue la misma estrategia metodológica y analítica anteriormente usada, mi intención es mostrar lo potencialmente fértil que es usar la metáfora del *perspectivismo anamórfico* y del *isomórfico* a través de ejemplos concretos.

Tales ejemplos son los siguientes. El primero es el caso de la microfotografía en el siglo XIX, el cual muestra cómo la introducción de esta técnica para producir imágenes de lo microscópico permitió representar científicamente con mayor objetividad y prescindir de la observación simple como el criterio principal para representar con precisión en las ilustraciones realizadas sin ayuda de instrumentos. Este caso muestra que la observación en la ciencia requiere de aparatos e instrumentos para medir, documentar y generar representaciones precisas. La inclusión de la microfotografía en la ciencia como una técnica para producir representaciones científicas fiables fue un proceso que de manera paulatina prescindió de las ilustraciones realizadas por los anatomistas, botánicos, etc., para adoptar una nueva manera de representar objetivamente el mundo microscópico que escapa a la observación a simple vista, lo cual permitió medir y documentar los análisis microscópicos con precisión.

El segundo ejemplo muestra cómo el experimento de Michelson para medir la velocidad de la luz entre dos puntos relativamente inmóviles en el vacío establece un proceso de medición, lo que amplía la caracterización expuesta en el capítulo I donde se le considera principalmente como *producto* y no como *proceso*. La medición es un proceso que incluye pasos hasta lograr el objetivo; en este caso en particular, los autores MacKay y Oldford extrajeron el proceso de medición del experimento de Michelson para ser utilizado en la estadística. Con dicho ejemplo se evidencia un proceso a través de

pasos que incluyen análisis, correcciones, adaptaciones, ajustes, etc., para obtener la velocidad de la luz bajo ciertas condiciones específicas. El experimento de Michelson ilustró para estos autores cómo la medición es un proceso que permite establecer un método para otras áreas de conocimiento.

Los otros dos ejemplos los tomo del ámbito del arte. Siguiendo la original metáfora de van Fraassen respecto al uso de la técnica de la perspectiva como una forma de representación en el arte para establecer una analogía en la representación en el arte y en la ciencia, utilizaré dos metáforas para el mismo fin. La primera es la técnica perspectivista del anamorfismo en el arte, y la segunda es la pintura de Magritte titulada “Esto no es una pipa” para ampliar dicha analogía y mostrar que las formas de representar en el arte son diversas lo mismo que en la ciencia. Utilizar sólo un caso como el de la perspectiva isomórfica en el arte para hacer una analogía entre ésta y la ciencia no refleja la diversidad de estilos y formas de representar en ambos ámbitos. El caso particular del uso del anamorfismo en el arte expone una técnica que, si bien utiliza geometría descriptiva,⁹⁷ por ejemplo, los cilindros y las cónicas, no utiliza el isomorfismo como principal herramienta para realizar representaciones artísticas. Si bien es una técnica que surge en la misma época que la perspectiva en el siglo XVI,⁹⁸ la utilización del anamorfismo en la actualidad implica muchos cálculos y algoritmos que sirven no sólo para realizar esculturas como las de Jonty Hurwitz, sino modelos en 3D. Con el ejemplo del anamorfismo se pretende complementar el caso de la perspectiva utilizado por van Fraassen y mostrar que existen maneras de representar en el arte que no se apoyan en el perspectivismo isomórfico y que este criterio no es el único para hablar de representación. La pintura “Esto no es una pipa” ilustra un caso de representación que no se basa en la similitud ni en el isomorfismo, ya que la pintura pretende contraponer la imagen observada de una pipa con una descripción contradictoria de lo observado.

2. Representación en la microfotografía del siglo XIX

La microfotografía⁹⁹ fue una de las primeras aplicaciones de la fotografía en la ciencia; y la primera fue publicada en 1845. Los anatomistas de la época argumentaban que la microfotografía era el

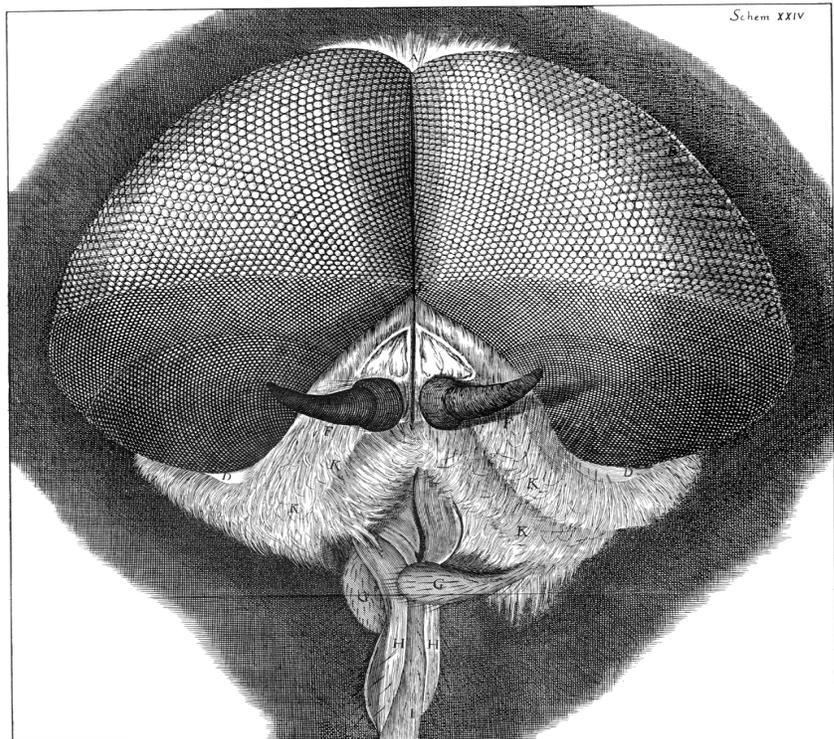
⁹⁷ Gabriel-Randour, Chantal y Jean, Drabbe, *Descriptive Geometry and Anamorphosis*, notas de la conferencia en Imect3 en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, julio del 2003, [<http://users.skynet.be/mathema/eng.htm>].

⁹⁸ J., Hunt, *et al.*, “Anamorphic images”, en *American Journal of Physics*, 68, 2000, pp. 232-237.

⁹⁹ La microfotografía fue una de las primeras aplicaciones de la fotografía a la ciencia, era un medio para documentar observaciones científicas de material microscópico. En 1845 se publicaron las primeras microfotografías en una monografía sobre tejidos. Esta herramienta era principalmente utilizada en las ciencias biológicas, la bacteriología y la anatomía.

medio para documentar los resultados de los análisis microscópicos que no estaban influenciados por la subjetividad del observador. Antes de la existencia de la microfotografía, los científicos tenían que desarrollar habilidades artísticas para poder plasmar en ilustraciones aquello que observaban. Un caso notable lo encontramos en el siglo XVII, con Robert Hook, quien muestra con detalle la descripción e ilustración de la representación de un zángano.

I took a large grey Drone-Fly, that had a large head, but a small and slender body in proportion to it, and cutting off its head, I fix'd it with the forepart or face upwards upon my Object Plate (this I made choice of rather than the head of a great blue Fly, because my enquiry being now about the eyes, I found this Fly to have, first the biggest clusters of eyes in proportion to his head, of any small kind of Fly that I have yet seen, it being somewhat inclining towards the make of the large Dragon-Flies. Next, because there is a greater variety in the knobs or balls of each cluster, then is of any small Fly.) Then examining it according to my usual manner, by varying the degrees of light, and altering its position to each kinde of light, I drew that Schem. 24 representation of it which is delineated in the 24. Scheme, and found these things to be as plain and evident, as notable and pleasant.¹⁰⁰



¹⁰⁰ Robert, Hooke, "Observ. XXXIX. Of the Eyes and Head of a Grey drone-Fly, and of several other creatures" en *Micrographia Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries Thereupon*, Londres, printed by John Martyn, and James Allestry, Printers to the said Society, 1664, p.175.

Olaf Breidbach (2002)¹⁰¹ muestra en su artículo cómo la microfotografía instaure una nueva técnica más objetiva que la forma usual utilizada de dibujar los objetos observados. La interpretación basada en dibujos de las muestras vistas por el microscopio tenía la desventaja de incluir las apreciaciones “subjetivas” del observador-ilustrador al realizar descripciones subjetivas que adjetivaban aquello que se observaba. Algunos anatomistas contrataban a dibujantes sin entrenamiento en histología con el propósito de obtener imágenes que no estuvieran influenciadas con prejuicios y pudieran ser consideradas como objetivas. La búsqueda de una técnica adecuada de documentación era necesaria para poder ilustrar lo que en realidad se observaba en las preparaciones microscópicas. Algunos botánicos, como Ludolph C. Treviranus (1779-1864),¹⁰² criticaban la práctica de incluir el mayor detalle posible en ciertas ilustraciones, sostenían que las técnicas como la litografía y el grabado eran inapropiadas para ilustrar preparaciones microscópicas de tejidos de plantas, porque mostraban una profusión de detalles que no ayudaban a la interpretación de las representaciones de los tejidos. Este botánico defendía los dibujos esquemáticos, pues sólo estos podían ofrecer una clara comprensión de lo que el autor veía; las ilustraciones no debían excederse en detalles para no sobrecargar al observador.

A principios del siglo XIX, la microfotografía resultó de gran importancia, ya que no había criterios disponibles en aquella época para poder distinguir entre rasgos relevantes y superficiales en la descripción de microestructuras de tejidos. El mundo artificial de la microfotografía era visto desde una postura realista como la representación real del micromundo en la que no intercedían las influencias o prejuicios subjetivos del observador-ilustrador; la realidad microscópica era retratada tal cual sin obstrucciones. Esto ocasionó a que se intentara comprender el microcosmos sólo analizando microfotografías obtenidas en lugar de analizar directamente las preparaciones microscópicas; se tenía más confianza en las imágenes obtenidas por medio de la microfotografía que en el análisis realizado de la observación de las preparaciones microscópicas.

Breidbach sostiene que los argumentos en favor de la microfotografía afirmaban que la fotografía era ver la realidad bajo su propia luz. La microfotografía proveía no sólo de imágenes “precisas” del mundo microscópico sino de una representación “objetiva” de la realidad vista a través del microscopio. Esto dio como resultado que los practicantes se preocuparan más por mostrar las

¹⁰¹ Olaf, Breidbach, “Representation of the microcosm: The claim for objectivity in 19th century scientific microphotography”, en *Journal of the History of Biology*, vol. 35, núm. 2, verano, 2002, pp. 221-250.

¹⁰² L. C., Treviranus, *Die Anwendung des Holzschnittes zur bildlichen Darstellung von Pflanzen. Nach Entstehung, Blüthe, Verfall und Restauration (1855)*, Leipzig, Utrecht, W. de Haan, 1949.

cualidades ocultas del mundo microscópico (que se consideraban representadas en las fotografías obtenidas por esta técnica) que por mejorar los procesos químicos del revelado fotográfico. El autor afirma que esta actitud cambió en 1880 con la introducción de la microfotografía como la técnica principal en la bacteriología. Robert Koch (1843-1910) fue la principal figura que logró argumentar en favor de la microfotografía en la bacteriología, sosteniendo que las imágenes obtenidas de esta forma eran más relevantes que las ilustraciones, pues el uso de la microfotografía permitía controlar las habilidades técnicas del observador. Koch afirmaba que la microfotografía le permitía ver por encima del hombro de algún observador con un microscopio para juzgar su habilidad como microscopista. Por eso defendía que la microfotografía permite juzgar tanto la habilidad del observador como la calidad de sus observaciones.¹⁰³

Breidbach sostiene que los argumentos principales en defensa de la microfotografía en 1860 eran:

1. La microfotografía permite la medición precisa de los objetos microscópicos; con ello se conseguía una cuatificación detallada de los tamaños de los tejidos en la impresión real más que de la muestra (las ilustraciones realizadas a partir de las muestras podría cambiar las proporciones o la visión del observador podía distorsionar la imagen percibida). Incluso en los tejidos asimétricos se podían calcular fácilmente las dimensiones.

Sin embargo, Olaf Breidbach sostiene que estas ventajas eran relativas, ya que se podían obtener los mismos resultados con una cámara lúcida.¹⁰⁴ Para el autor no es un argumento fuerte si se compara con el proceso más sencillo de usar una cámara lúcida o un micrómetro ocular en relación a lo complicado que era lograr una buena microfotografía. Este argumento sí aplicaba para aquellos organismos que cambian su forma rápidamente, como las amibas o los cristales de nieve, si se alcanzaba una exposición de tiempo correcta.

2. La microfotografía ofrece mejor detalle de lo que puede verse por observación directa a través de un microscopio.

3. La objetividad de la microfotografía se basa en que la documentación fotográfica de las preparaciones microscópicas está libre de la subjetividad del observador; los detalles de la imagen representada no

¹⁰³ Breidbach, Olaf, *op. cit.*, 2002, p.222.

¹⁰⁴ La cámara lúcida es un instrumento óptico principalmente utilizado por artistas. Realiza una superimposición óptica de aquello que se observa sobre la superficie en la cual el artista está dibujando. El artista observa simultáneamente la escena y la superficie dibujada, como si fuera una fotografía doble-expuesta. Con esta técnica el artista puede duplicar los puntos clave de la escena en la superficie dibujada, lo que le permite ajustar la perspectiva correcta.

están restringidos a los atributos relevantes o particularmente importantes de acuerdo con el observador. La microfotografía puede verse como una representación precisa de lo que en realidad existe en la naturaleza y lo que el naturalista ha observado.

La subjetividad que el autor menciona está basada en las desventajas que los defensores de la microfotografía expresaban sobre las ilustraciones o grabados hechos manualmente; ésta se encontraba en las descripciones realizadas por el observador-ilustrador, quien reflejaba sus creencias, prejuicios, apreciaciones y juicios en aquello que observaba y que plasmaba ya fuera en descripciones escritas o en detalladas y elaboradas ilustraciones (grabados).

Si bien había quien defendía la microfotografía apoyándose en los argumentos anteriores, como Robert Koch, las principales objeciones sostenían que no ofrecía representaciones infalibles de las observaciones microscópicas; esta visión cambió hacia finales del siglo XIX cuando fue aceptada como una técnica científica.

El caso de la microfotografía en el siglo XIX ofrece otro ejemplo de la representación en la ciencia, en el cual se adoptó una nueva forma de representar que incluso llegó a poner en tela de juicio aquello que se ilustraba por medio de la observación (a simple vista o a través del microscopio); es decir, se dudó de la objetividad de aquellas imágenes que no fueran producidas por esta nueva técnica. Este caso muestra como, desde el siglo XIX, los instrumentos de observación son relevantes en la producción de imágenes precisas; con ello se quiere enfatizar que la línea que van Fraassen quiere delimitar, en torno a la observación y al uso de instrumentos de observación para producir imágenes -como se mostró en el capítulo I-, no resulta plausible; lo anterior además, sumado a la variedad de microscopios que hay en la actualidad, los cuales resultan fundamentales en la detección de entidades imposibles de observar a simple vista.¹⁰⁵ Ahí se vio que la ciencia en el proceso de generar mejores representaciones científicas ha utilizado aparatos e instrumentos que perfeccionaron la observación a simple vista. Este ejemplo muestra un caso en dicho proceso, en el cual, al adoptar una nueva manera de representar con la microfotografía, se cuestionó el hecho de representar (vía ilustraciones) sólo apoyándose en una observación simple, asunto que ha sido largamente defendido en la propuesta empirista de van Fraassen, la cual insiste en considerar la observación a simple vista (o con ayuda de

¹⁰⁵ “The main points of our discussion are not much affected by just where precisely the line is drawn. I draw the line this side of things only appearing in optical microscope images, but won’t really mind very much if you take this option only, for example, for the electron microscope. After all, optical microscopes don’t reveal all that much of the cosmos, no matter how veridical or accurate their images are. *The empiricist point is not lost if the line is drawn in a somewhat different way* from the way I draw it. The point would be lost only if no such line drawing was to be considered relevant to our understanding of science”. Bas C., van Fraassen, *op. cit.*, 2008, p. 110.

instrumentos simples) como la manera principal de acceder a los fenómenos.

En la ciencia existen diversas maneras de representar; cada área enfrenta y ha enfrentado distintas dificultades para intentar representar con precisión fenómenos (procesos) o aspectos de los mismos. El ejemplo anterior cumple con los tres aspectos relevantes en la medición que van Fraassen caracteriza, los cuales fueron expuestos en el capítulo I: 1) el agente (el sujeto), 2) Un aparato (instrumento) y 3) La teoría. Sin embargo, en el caso de la microfotografía, la inclusión del sujeto resulta no virtuosa contrariamente a lo que afirma van Fraassen. El ejemplo de la microfotografía en el siglo XIX muestra que, para una pretendida “objetividad” en las representaciones científicas, éstas debían estar alejadas de la “subjetividad” del observador que realizaba las ilustraciones desde su apreciación personal; la microfotografía permitía obtener imágenes que representaban con mayor “objetividad” elementos microscópicos sustentados en las teorías científicas. Considerar a la representación científica como un proceso histórico permite tener en cuenta cómo cada caso de representación, en distintas épocas dentro de la ciencia, ha enfrentado dificultades particulares en cuanto a los criterios para evaluar la calidad de sus representaciones.

3. La medición como un proceso o método, medir no siempre es representar

En noviembre de 1877, Albert A. Michelson (1852–1931) realizó un experimento para medir la velocidad de la luz blanca mientras viaja entre dos puntos relativamente inmóviles en el vacío, con el cual obtuvo medidas más precisas basadas en una versión mejorada del espejo rotatorio de León Foucault (1819–1868). El espejo rotatorio sustituyó la rueda dentada¹⁰⁶ elaborada por Fizeau (1819–1896), quien produjo la primera determinación terrestre de la velocidad de la luz en 1849, innovó en colocar un espejo fijo cuya superficie era perpendicular al rayo de luz que provenía de la fuente de luz; con dicha innovación, el rayo de luz se reflejaba directamente desde su origen y las mediciones eliminaban cualquier tipo de variación en la percepción humana (al suplir el espejo por el sujeto observador).

El experimento de Michelson mejora tanto el experimento de Foucault como el de Fizeau. Respecto a este último, la limitante estaba en el tiempo de la desaparición total de la luz, porque era

¹⁰⁶ Rueda dentada de rotación rápida que se usaba para medir la velocidad de la luz ajustando la rotación hasta que pasara por una de las ranuras y la reflejara desde un espejo distante para que volviera a pasar la siguiente ranura. Con este método se tenía la velocidad de rotación de la rueda y la distancia recorrida (ida y regreso del rayo de luz) para obtener la velocidad de la luz.

incierto el momento en que desaparecía de una ranura y aparecía en la siguiente. La principal objeción de Michelson al experimento de Foucault era que la cantidad del desplazamiento entre el rayo del origen y el reflectado era muy pequeña y, por tanto, difícil de medir con precisión. El principal objetivo del experimento de Michelson para mejorar las objeciones a Foucault es el siguiente:

The object of the experiments which I have undertaken is to increase the displacement in the first method. This can be done in several ways: 1st, by increasing the speed of the mirror; 2nd, by increasing the distance between the two mirrors; 3rd, by increasing the radius of measurement, i.e., the distance from the revolving mirror to the scale.

In Foucault's experiments the speed of the mirror was 400 turns per second: the radius of measurement was about one metre, and the distance between the mirrors was about ten (10) metres. The displacement obtained was about 0.8 milimetre.

In my experiments, the speed of the mirror was but 130 turns per second —but the radius of measurement was from fifteen to, thirty feet —and the distance between the mirrors was about 500 feet.

The displacement obtained varied from 0.3 inch, to 0.63 inch, or about twenty times that obtained by Foucault. With a greater distance between the mirrors, and better apparatus, I expect to obtain a displacement of two or three inches and to measure it to within one thousandth part of an inch.¹⁰⁷

El objetivo del experimento de Michelson era incrementar el desplazamiento entre el rayo del origen y el rayo, las tres formas en que se puede lograr dicho desplazamiento así como las diferencias de la velocidad del espejo en relación con el método de Foucault.

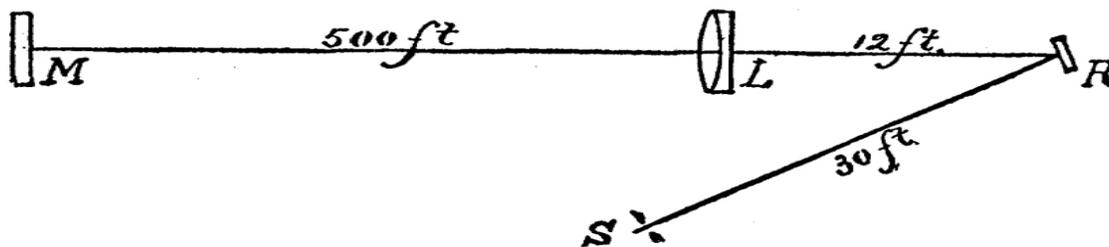


Ilustración 1. Distancias a Medir

Fuente: Albert A., Michelson, *op. cit.*, 1928, p. 563.

¹⁰⁷ Albert A., Michelson, "Experimental Determination of the Velocity of Light" en *The Scientific Monthly*, vol. 27, núm. 6, Diciembre, 1928, p. 562.

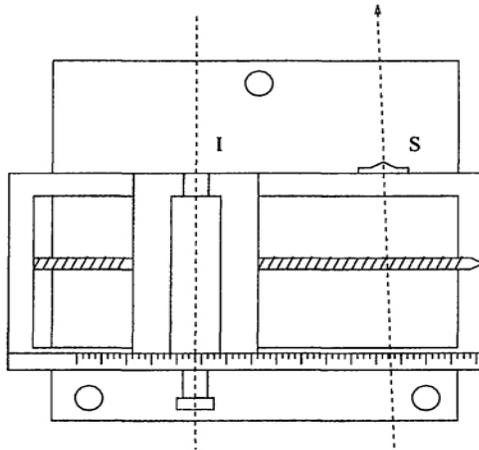


Ilustración 2. Desplazamiento *IS* medido por el micrómetro

Fuente: R. J., MacKay y R. W., Oldford, “Scientific method, statistical method and the speed of light” en *Statistical Science*, vol. 15, Núm. 3, agosto, 2000), p. 262.

Las distancias *SR* y *RM* (ilustración 1)¹⁰⁸ fueron medidas usando una cinta de acero de 100 metros de largo. El desplazamiento *IS* (ilustración 2) se midió con un micrómetro calibrado. La fuente de luz provenía de una estrecha rendija vertical que estaba fijada en el micrómetro, el cual tenía un pequeño telescopio que podía moverse de izquierda a derecha usando un cuadrante (que se encontraba a la derecha). En el foco de la lente del telescopio (aproximadamente de 2 pulgadas) y cerca del mismo plano, como la rendija *S*, había una fibra de seda vertical que servía como retícula para propósitos de alineación. Al girar el tornillo (que se encontraba del lado derecho y que al girarlo movía el telescopio), el telescopio podía posicionarse para que la fibra estuviera centrada en la imagen que regresaba de la rendija a *I* (*S*). El desplazamiento *IS* sería el resultado de mover el telescopio desde su posición inicial hasta la rendija de la posición de la imagen.

¹⁰⁸ La ilustración 1 muestra el diagrama del plan general del experimento de Michelson: “The sun 's rays are reflected by a heliostat through a **slit S**, and upon a **mirror R**, which revolves about a vertical diameter. They are thence reflected to a fixed plane **mirror M**, upon the surface of which an image of the slit is formed by means of the **lens L**. The light now retraces, its path, and finally forms an image of the slit, which, when the mirror, *R*, is at rest, coincides exactly with the slit itself. When the mirror revolves slowly, this coincidence is still maintained but the image is perceived by flashes of light at each revolution till they follow each other in such rapid succession as to form a continuous impression. This image is displaced more and more as the revolution becomes more rapid, the displacement being twice as great as the displacement of the mirror, during the time required for the light to travel from *R* to *M* and back again”. en Albert A., Michelson, *op. cit.*, 1928, pp. 562 y 563.

La velocidad de rotación n (número de revoluciones por segundo), del espejo rotatorio se estableció utilizando un diapasón eléctrico que vibraba a 128 cps (cuentas por segundo). La válvula de la bomba se abrió para rotar el espejo R y lograr que la velocidad en revoluciones por segundo se igualara en vibraciones por segundo a la frecuencia del diapasón eléctrico. La velocidad y la frecuencia se ajustaron con un espejo unido a uno de los brazos del diapasón eléctrico, para que algo de la luz reflejada desde el espejo rotatorio fuera reflejada de regreso por el espejo del diapasón eléctrico y producir una imagen del disco (del espejo rotatorio) en un pedazo del vidrio plano ubicado cerca de la lente del ocular del micrómetro. Si la frecuencia del diapasón y la velocidad del espejo rotatorio eran iguales, la imagen final que aparecía en el vidrio plano era nítida. En casi todas las determinaciones de Michelson la frecuencia del diapasón era la mitad de la del espejo rotatorio para que las dos imágenes pudieran producirse nítidamente.

La frecuencia del diapasón eléctrico (V_{t_2}) era medida al contar los golpes por segundos entre éste y el diapasón estándar (V_{t_3}) con una frecuencia conocida de 256.070 cps a 65°F. Fue usado un periodo de cuenta de 60-s; la temperatura fue documentada para corregir la frecuencia del diapasón estándar; la frecuencia del diapasón eléctrico es uno-mitad de la suma de 256.070, el número de golpes por segundo y la corrección de la temperatura. El resultado final para la velocidad del espejo rotatorio en revoluciones por segundo fue determinada por la frecuencia del diapasón eléctrico y el número de imágenes nítidas en el vidrio plano.

El análisis y la explicación de MacKay y Oldford (2000) plantea que del experimento de Michelson puede extraerse un método o proceso que consta de cinco pasos interrelacionados entre ellos, en donde cada paso permite hacer ajustes, adecuaciones, ya sea para pasos subsecuentes o antecedentes. Esquemáticamente, este proceso puede organizarse en las siguientes etapas: el problema, el plan, los datos, el análisis y la conclusión.

El **problema**. En 1879, Michelson se propuso determinar la velocidad de la luz blanca mientras viaja entre dos puntos relativamente inmóviles en el vacío. La unidad fue la transmisión de dicha luz entre la fuente y el destino, ambos localizados en el vacío. En esta fase se establecen los procesos para el objetivo (*target*) y la población objetivo; esta última describe las características de los atributos de la población (un atributo es una función aplicada a toda la población y es determinada por valores de variables o unidades individuales). El atributo en el caso del experimento de Michelson es la velocidad promedio de la luz a través de todas las unidades de la población; la velocidad de la luz blanca es

constante en el vacío, así que no existen variables en el valor de respuesta. El problema en este caso es descriptivo pues el propósito es estimar el promedio de la velocidad de la luz.

El **plan**. En esta fase se elabora un procedimiento para la obtención y análisis de los datos. El plan debe incluir un paso en el cual se decide qué variables se medirán en cada unidad para seleccionarse como muestra. Michelson no midió la velocidad de la luz como unidad directamente con el aparato; en cada determinación midió las respuestas de la variables para calcular la velocidad de la luz. Intentar medir la velocidad de la luz en el aire podría resultar un error; por ello, Michelson planeó corregirlo usando un factor basado en el indicador de la refracción del aire; para esto requirió de conocimientos contextuales que se encontraban fuera del método o proceso. El error de medición es la diferencia entre el valor de la variable determinado por el proceso de medición y el valor de la unidad de la muestra (la unidad en este caso es una transmisión de luz entre la fuente y el destino, ambos localizados en el vacío). Las propiedades del proceso de medición se definen en términos de medir repetidamente la misma unidad de estudio. Existen dos sesgos en este proceso; un atributo del objetivo (*target*) en el proceso de medición que describe sistemáticamente un error de medición, y la variabilidad de medición, un atributo en el proceso que describe el cambio en el error de medición de una determinación a la siguiente.

To measure the distance between the two mirrors (approximately 2,000 ft), the plan was to place lead markers along the ground and use the tape to measure the distance from one to the next following a carefully defined standard procedure. The tape was to be placed along the (nearly) level ground and stretched using a constant weight of 10 lbs. This led Michelson to investigate the stretch of the tape.¹⁰⁹

Los **datos**. En esta fase se incluyen la ejecución del plan y la verificación de la calidad de los datos para el análisis. El primer conjunto de mediciones realizadas por Michelson se realizó con luz eléctrica; este método fue abandonado y comenzó a utilizar luz natural al observar que la imagen con luz artificial no era tan nítida. Dichas modificaciones sugieren que el monitoreo de los datos lo llevó a realizar cambios en el plan. El examen de los datos procura la consistencia interna de los mismos como un todo; los datos son examinados para encontrar patrones o en su defecto rasgos inesperados.

El **análisis**. Aquí se utilizan los datos y la información obtenida a través del plan para tratar las preguntas formuladas. Con frecuencia se construye un modelo para el plan y los datos; se ajustan y evalúa el modelo y se usa un modelo final para resolver el problema. En el caso de Michelson, el

¹⁰⁹ R. J., MacKay y R. W., Oldford, *op. cit.*, 2000, p. 267.

análisis lo limitó a calcular el promedio de 100 velocidades medidas en el aire, realizar una colección de números y estimar posibles errores; tampoco consideró hacer comparaciones entre las mediciones realizadas en el día y la noche. Si bien no propuso formalmente un modelo, sí realizó varios chequeos que quizá podrían considerarse como el establecimiento de uno, por ejemplo: “to see if the measured speed of light was systematically influenced by the distinctness of the image, an explanatory variate, he calculated and compared the average velocities stratified by distinctness of image. This checking was repeated for many other explanatory variates”.¹¹⁰

La **conclusión**. En su estudio Michelson concluyó haber reportado que la velocidad de la luz (kilómetros por segundo) en el vacío es de $299,944 \pm 51$. Posteriormente, discutió algunas objeciones, entre ellas: incertidumbre en las leyes de reflexión y refracción en un medio en rotación rápida, retraso causado por la reflexión, imperfecciones en los lentes, variaciones periódicas en la fricción de los pivotes del espejo rotatorio y cambio en la velocidad de rotación. Para cada una de las objeciones, Michelson refiere al plan y al modelo de valoración para mostrar que éstas pueden tener un pequeño efecto en la estimación de la velocidad de la luz.

Este proceso o método para medir la velocidad de la luz blanca mientras viaja entre dos puntos relativamente inmóviles muestra cómo este caso de medición puede ser visto como un método en el sentido de concatenar diversos pasos estrechamente interrelacionados, lo que muestra otro aspecto de la medición además de la representación como la que se expuso en el capítulo I.¹¹¹ A lo largo de su análisis en torno a la medición, van Fraassen resalta la relevancia de considerar a la medición científica como un proceso que produce representaciones, sin embargo, no muestra con algún ejemplo cómo podría verse a la medición como un proceso y se enfoca en los productos finales de ésta: las representaciones científicas. El ejemplo de Michelson permite ver todos los pasos y ajustes realizados en un proceso de medición en los que se interrelacionan el sujeto (agente), los instrumentos experimentales y la(s) teoría(s). Si bien dicho experimento se sirve de gráficas y diagramas para explicar con mayor claridad los métodos, aparatos y procedimientos para medir la velocidad de la luz, el resultado final no es como tal una representación, sino un proceso que consta de varias etapas hasta lograr el objetivo de medir la

¹¹⁰ *Ibidem*, p. 273.

¹¹¹ Si bien van Fraassen está concentrado en una idea de la medición análoga a la acción de representar, a lo largo de su exposición también identifica otras virtudes como informar, asignar un número, calcular y como operación (capítulo I, p. 14). Al inicio de su exposición, van Fraassen enfatiza que la medición es un proceso y que para tener una noción completa se tienen que contemplar aspectos internos (medición como proceso) y la medición como producto (representación). Aunque reconoce a la medición como un proceso, van Fraassen no desarrolla una caracterización de la medición como proceso (método).

velocidad de la luz en determinadas condiciones. La medición también puede considerarse como un proceso que puede devenir en un método sirva para otras áreas, como en este caso, para la estadística, al retomar los cinco pasos que conforman el proceso experimental de medición de Michelson. Este ejemplo de experimento de medición también muestra que no siempre se busca como resultado final una representación; en este caso el objetivo era obtener una medida (una unidad, una muestra) más precisa de la velocidad de la luz a través de un método de medición haciendo ajustes a experimentos anteriores; es decir, un experimento que se desarrolla (mejorando experimentos previos) en un proceso que interrelaciona varias etapas con el objetivo de obtener datos más precisos a los previamente obtenidos con otros experimentos.

4. Anamorfismo en el arte y el caso de “esto no es una pipa” de Magritte

La palabra *anamorfosis* en griego quiere decir *transformar*. La representación en el arte no sólo dibuja la realidad sino que también la transforma visualmente por ilusiones ópticas (se puede acceder de forma visual a las imágenes anamórficas, ya sea a la imagen plasmada en dos/tres dimensiones que no se observa proporcionada y la que se observa desde el cilindro), las formas y rasgos de la realidad a través de técnicas y procedimientos artísticos. Como ya se mencionó, la representación en el arte no es siempre realista; considerar únicamente el ejemplo de la perspectiva en la pintura para establecer una analogía entre el arte y la ciencia resulta un tanto estrecho, ya que esta técnica no es la única para representar en el arte. Adoptar una analogía entre el arte y la ciencia implica considerar todos los tipos de representación que existen en ambas disciplinas; es un tipo de analogía que requiere una visión panóptica tanto del arte como de la ciencia.

El anamorfismo es también un método y procedimiento en el arte que desafía las correspondencias tradicionales de las leyes de la perspectiva para crear una ilusión óptica, debido a que es una deformación reversible por medio de un procedimiento óptico o matemático. Es un efecto perspectivo utilizado en el arte para forzar al observador a un determinado punto de vista preestablecido o privilegiado, donde el elemento u objeto adquiere una forma proporcionada y clara. Las imágenes en el anamorfismo tienen la doble virtud de deformarse y expandirse, pero al mismo tiempo ser proporcionadas y claras; además, es reversible: siempre se puede acceder a la imagen ya sea deformada o proporcionada y clara.

El artista alemán Jonty Hurwitz¹¹² crea esculturas anamórficas que muestran su sentido

¹¹² Véase: [<http://www.jontyhurwitz.com/anamorphic-sculptures>].

proporcionado y claro al ser reflejadas a través de un cilindro reflector. Formado como ingeniero descubrió que podía utilizar la ciencia como “pincel”; sus esculturas buscan ser un estudio del espacio, pues aplica la física a su percepción mediante un billón de cálculos y algoritmos. Hurwitz explica el proceso para realizar sus esculturas anamórficas de la siguiente forma:

For the anamorphic pieces it's an algorithmic thing, distorting the original sculptures in 3D space using 2π or π^3 (cubed). Much of it is mathematical, relying on processing power. There is also a lot of hand manipulation to make it all work properly too as spacial transformation have a subtle sweet spot which can only be found by eye. Generally I will 3D scan my subject in a lab and then work the model using Mathematica or a range of 3D software tools. I think the π factor is really important in these pieces. We all know about this irrational number but the anamorphic pieces really are a distortion of a “normal” sculpture onto an imaginary sphere with its centre at the heart of the cylinder.¹¹³

Utilizar la técnica del anamorfismo en el arte complementa el ejemplo del uso de la perspectiva que le permite a van Fraassen establecer una analogía entre la representación en el arte y en la ciencia. Esta técnica es la otra cara de la moneda de la perspectiva, implica los mismos aspectos que la perspectivista utilizada por van Fraassen, pero no se basa en un isomorfismo sino en un anamorfismo, el cual permite generar imágenes que cumplen con las reglas de la perspectiva al ser reflejadas por un cilindro, pero que no han sido creadas de inicio con la técnica del isomorfismo, sino con la de anamorfismo. Las imágenes anamórficas, si no son vistas a través de su reflejo en un cilindro, sólo son representaciones que no tienen formas definidas aparentemente. Con el ejemplo del uso del anamorfismo en el arte se muestra que, además del isomorfismo, existen otras maneras para representar que dan sentido a las imágenes generadas, ampliando así la noción de arte expuesta en el capítulo I¹¹⁴ que sólo considera al isomorfismo como el criterio principal de representación. En el anamorfismo también se realizan

¹¹³ Véase: [<http://www.thisiscolossal.com/2013/01/the-skewed-anamorphic-sculptures-and-engineered-illusions-of-jonty-hurwitz>]. Fecha de consulta 20 de agosto de 2013.

¹¹⁴ Van Frassen expone su idea de medición y la ilustra con el ejemplo del uso de la perspectiva en la pintura, con ello pretende establecer su noción en términos de una analogía entre la representación tanto en el arte como en la ciencia. La analogía sostiene que los tratados de perspectiva permiten representar correctamente estructuras espaciales por medio de la medición, la imagen final es el resultado de una medición de ciertas cantidades métricas que se encuentran en una determinada situación pictórica.

El dibujo perspectivista, según van Fraassen, nos ofrece un ejemplo paradigmático de la medición, ya que el proceso de dibujar produce una representación del objeto dibujado al realizar una selección de sus rasgos más relevantes; la semejanza del objeto dibujado con el objeto es al mismo tiempo una especie de abstracción (de los rasgos relevantes) y una muestra fehaciente para el ojo de que el objeto aparece en el dibujo. El resultado de la medición no nos muestra lo que el objeto es en sí mismo, sino cómo aparece en dicho proceso; las imágenes producto de la medición nos representan las apariencias de la medición, aquello que aparece de los fenómenos en la práctica de medir (capítulo I, pp. 13 y 14).

mediciones, modelos y herramientas en 3D que logran imágenes proporcionadas y claras.

El ejemplo de la pintura “esto no es una pipa”, de Magritte, es un caso peculiar de la representación en el arte, si bien (en un sentido) la representación no se basa en la similitud, se adhiere a ella porque la pipa sigue pareciéndose a una pipa, el ejemplo expone un caso de representación que utiliza a la similitud de manera diferente para lograr su objetivo, un estilo en la pintura que no pretende retratar de manera fiel -es decir desde cánones realistas- sino más bien realiza un juego sintántico entre las formas conocidas y los conceptos que las nombran. Así se muestra que la representación en el arte no siempre está basada en la similitud o isomorfismo, lo que amplía la noción de *representación en el arte* expuesta en el capítulo I y apoya los argumentos contra la similitud e isomorfismo desarrollados en el capítulo IV.

[...] El lenguaje, en el arte, en la literatura, se empobrece en un esfuerzo mimético de contar el milagro de la semejanza, ya no convalidado por la necesidad de la similitud.

[...] la pintura de Magritte se asemeja a la investigación de Wittgenstein sobre el hechizo que el lenguaje opera sobre nuestra inteligencia. [...] En cierto modo, la rebelión de Magritte es más epistemológica que pictórica. [...] Su furia va dirigida contra la sintaxis de los conceptos más que contra la sintaxis de las formas. [...] Magritte intenta redimirse de la confrontación directa entre cosa y cosa, entre lo que *es* una pipa y la imagen de la pipa. Uno de los principios básicos de la pintura occidental, según Foucault, es la equivalencia entre el hecho de la semejanza y la afirmación de un vínculo representativo. Esto fue puesto en crisis por vez primera por Kandinski; y Magritte, el menos abstracto de los grandes pintores modernos, prosigue su camino.¹¹⁵

La pintura de Magritte establece una cierta contradicción entre la imagen y el texto, pero, como sostiene Foucault, lo extraño no radica en dicha contradicción, ya que sólo podría haber contradicción entre dos enunciados o en el interior de un solo y mismo enunciado. Lo desconcertante es lo inevitable de relacionar la imagen con el texto, pero más curioso y paradójico es que los enunciados alojados en el espacio de la figura hacen decir al texto lo que representa el dibujo aunque aparentemente se contradigan la imagen y el texto que niega a la imagen.

Los ejemplos expuestos en el presente capítulo muestran que para realizar una analogía entre el arte y la ciencia se requiere una visión amplia y completa de los diferentes tipos de representación que

¹¹⁵ Michel, Foucault, *Esto no es una pipa, ensayo sobre Magritte*, Barcelona, Ed. Anagrama, 1997, p. 11 y 13.

existen en dichas áreas, lo cual implica una comprensión de los distintos enfoques y cuestiones (en torno a la representación) que ambas áreas han enfrentado a lo largo del tiempo en las diferentes épocas, estilos, parámetros. Por otro lado, requiere entender que la idea de representar no ha sido la misma a lo largo del tiempo; que la forma de representar tanto en el arte y como en la ciencia tiene particularidades distintas, que no siempre y en todos los casos persiguen los mismos objetivos, que la función de representar no es estática y siempre es compartida en ambas áreas. Por esto, utilizar un ejemplo de una manera de representar en el arte para mostrar cómo también se representa en la ciencia no abarca el amplio panorama de representaciones existentes en ambas áreas y no significa que el arte se represente igual que en la ciencia.

Respecto a la medición, el ejemplo muestra que existen distintas funciones además de representar, considerando que la medición es un proceso, en algunos casos muy largo, como el de la temperatura que duró aproximadamente 200 años en obtener la medida y el método de una cantidad (el agua en condiciones de máximo o mínimo calor).

CONCLUSIONES GENERALES

Las corrientes dominantes del empirismo dentro de la filosofía de la ciencia del siglo XX, tales como los empiristas lógicos, el círculo de Berlín y diversos autores relacionados con ellas como Bertrand Russell, S. Stevens, Patrick Suppes, Norman Campbell, etc., analizaron el tema de la medición científica principalmente desde un punto de vista formal, y terminaron elaborando en su gran mayoría teorías representacionistas de la medición. Específicamente, tal como lo vimos en el capítulo II, las teorías representacionistas de la medición mantienen todas ellas fuertes y variados compromisos realistas, como una interpretación realista de la matemática que consiste en pensar que al asignar una cantidad a una magnitud por muy grande, pequeña o inaccesible que ésta sea, estamos hablando de una entidad o proceso genuinamente existente. Tal como lo vimos, este tipo de realismo está inextricablemente relacionado con la idea de medición científica que sorprendentemente algunos de los más importantes empiristas defendieron. Como sabemos, desde David Hume las posiciones empiristas son antirrealistas ya sea respecto a causas, entidades, leyes o teorías. Bas van Fraassen, por ejemplo, ha dicho que las teorías científicas no pueden ser interpretadas como relatos literalmente verdaderos de un mundo inaccesible a la observación, sino que en todo caso sólo serán empíricamente adecuadas. Es evidente, entonces, como lo vimos en el capítulo II que existe una tensión epistémica al sostener simultáneamente una interpretación representacionista de la medición científica y un empirismo estricto.

El empirismo estructural que defiende van Fraassen sostiene en general que las teorías científicas son las que establecen y determinan qué mediciones han de ser realizadas. En los capítulos I y IV vimos que las mediciones científicas cobran sentido solamente dentro del espacio lógico provisto por las teorías. Sin embargo, este énfasis exclusivo en la determinación teórica de las mediciones analíticamente excluye las múltiples funciones empíricamente relevantes de los procesos que constituyen a las mediciones científicas. Por ejemplo, como lo vimos en el capítulo V, la medición de la velocidad de la luz realizada por Michelson modifica y perfecciona tanto aspectos teóricos como prácticos para obtener la medición de dicha velocidad más exacta de la que se tenía. Tales procesos tienen entre sus funciones centrales entrelazar tantos los aspectos teóricos como los práctico-experimentales en donde ambos son importantes y codependientes, por lo que analizar solamente la función de las teorías respecto a la medición deja sin explicar las complejas funciones de los procesos

de medición. Ello nos lleva directamente a dos consecuencias indeseables. O bien se podría pensar que tales procesos de medición son prácticamente inexistentes o bien que son epistémicamente irrelevantes. Si bien la primer tesis es extrema y van Fraassen no la asume explícitamente, su excesivo análisis de la medición científica que sistemáticamente excluye el estudio de dichos procesos podría llevar a sostenerla. Inclusive se podría llegar a pensar que los procesos de medición tendrían funciones epistémicamente irrelevantes para conformar a las mediciones porque van Fraassen sugiere fuertemente que es la teoría la que establece, dirige, y regula todas y cada una de las funciones epistémicamente relevantes que constituyen a las mediciones, tal como lo analizamos en el capítulo IV. Por lo cual, podemos establecer que el análisis de van Fraassen de la medición científica que se centra en analizar las representaciones como el aspecto central y filosóficamente relevante de la medición científica resulta inadecuadamente incompleto al dejar fuera del análisis procesos de medición tales como experimentos, elaboración de instrumentos, técnicas de calibración, mejora de instrumentos, análisis de errores, etc. En dichos procesos se encuentra un campo fértil que posibilita un análisis que desde un enfoque empirista permite explicar y mostrar cómo las mediciones científica se construyen empíricamente en *procesos complejos* de multietapas que entretujan no sólo aspectos teóricos sino práctico-experimentales.

Un ejemplo notable de la relevancia filosófica de estos procesos es el modelo de experimento desarrollado por Giere. Él ha mostrado mediante la historia de la ciencia y la práctica científica actual que la ciencia genera ella misma modelos de experimento para su propio funcionamiento. Estos modelos integran los principios teóricos (leyes, axiomas, etc.) con la información que provee el fenómeno en un modelo de experimento. Dicha integración en muchos casos resulta tan compleja que puede considerarse una representación en sí misma, además de la representación propia del modelo teórico. Sin estos modelos de experimento no se entendería adecuadamente cómo los datos configuran a los fenómenos y viceversa, lo cual constituye complejos procesos de entrelazamiento entre ambos aspectos. Las mediciones científicas, como lo ilustré en el capítulo V, están constituidas y estructuradas con base en este tipo de procesos entrelazados entre los datos, los fenómenos y las teorías. Este entrelazamiento hace inteligible los múltiples procesos involucrados en la medición de la velocidad de la luz la cual se obtuvo por la concatenación ordenada de múltiples etapas. Dicho entrelazamiento se lleva a cabo no de manera accidental o arbitraria, sino que son los científicos (o lo que Giere llama “agente”) los que diseñan, controlan, corrigen y evalúan qué proceso sería el siguiente para resolver los

diversos problemas que se generan a lo largo de los intentos de medición de fenómenos tan complejos e intrincados como la velocidad de la luz. El análisis de esta concatenación de procesos nos permite ver que en realidad lo que se presenta finalmente como un valor asignado a una magnitud es el resultado de la solución de una gran diversidad de problemas, el diseño de diferentes instrumentos, la creación o modificación de conceptos, la detección y eliminación de errores, la utilización de diferentes teorías, etc., lo cual nos muestra lo complejo, variado y su característica naturaleza multinivel del conocimiento métrico del mundo físico.

La propuesta de Giere no sólo resulta relevante por considerar al modelo de experimento dentro de los procesos/prácticas científicas, sino que además nos ofrece una alternativa semántica de doble dirección. Por una parte, las líneas jerárquicas tradicionales que van de lo teórico hacia el fenómeno y, por otra parte, en dirección contraria va de los datos hacia lo teórico; a “mitad de camino” de ambas direcciones se localiza el modelo experimento el cual resulta un modelo intermedio en muchos casos igual o más complejo que alguno de los otros dos. En la tradición semanticista en torno a los modelos establecida por Suppes, como lo vimos en el capítulo III, los modelos utilizados son el de datos y el teórico, y en dicha visión jerárquica, en la que el modelo teórico figura a la cabeza y desde el cual se llega hasta el fenómeno a través del modelo de datos, no se contempla al modelo de experimento. El modelo de experimento permite analizar la compleja dinámica implícita en los procesos de medición científica, ya que, como lo vimos en el ejemplo de la medición de la velocidad de la luz, es necesario entender cómo las teorías pueden sugerir mediciones específicas y cómo éstas alteran posteriormente a las primeras.¹¹⁶ El modelo de Giere, a diferencia del modelo teórico, es una forma de representar un proceso (como el de la medición científica) ya que no es una “imagen instantánea” de lo que afirma una teoría, sino más bien una “imagen instantánea” de una sección de un proceso mayor y más complejo. Sin el modelo de Giere sería muy difícil entender adecuadamente cómo se llegó a medir la velocidad de la luz. Por ello, uno de los rasgos notables del modelo de experimento es que permite entender y explicar de mejor manera las sucesivas etapas de los procesos de medición a diferencia del modelo de superficie propuesto por van Fraassen.

La idea de representación científica en van Fraassen se articula con base en la noción de

¹¹⁶ Esta idea de una relación de retroalimentación entre teorías y datos ha sido señalada y estudiada recientemente por varios autores. Por ejemplo, Hasok Chang (2006) sostiene que hay un proceso que llama “iteración epistémica” que consiste en que partiendo de una idea provisional respecto de la naturaleza de un proceso, se genera una teoría que modifica parcial y sustantivamente a la idea original. Y esta modificación a su vez generará otra idea que servirá de apoyo para continuar este proceso de retroalimentación.

isomorfismo. Afirmar que la representación científica es isomórfica, lo cual también asumen las teorías representacionistas de la medición, supone que las representaciones científicas a través de modelos tienen valores fijos que no cambian ni se modifican, ya que ambas estructuras están rígidamente correlacionadas. El que una estructura sea isomórfica con otra quiere decir que una puede substituir a la otra en contextos y para fines específicos. Esta idea de representación isomórfica es adecuada para entender aquellos casos en que los resultados finales de los procesos de medición fijan el valor establecido para una magnitud física, siempre que se preserven las mismas condiciones. Cabe añadir que considerar a un resultado de medición como final depende del contexto específico de investigación el cual ofrece los criterios y estándares para poder identificar a una medición como satisfactoria y adecuada. Vimos en el capítulo IV, no obstante, que hay casos importantes tanto en ciencia como en otras áreas, que no toda representación final de un proceso de medición es isomórfica sin negar la importancia y relevancia de las que sí son. Algunos de los resultados finales de mediciones científicas interpretados como representación no isomórfica que analicé y/o referí en este trabajo son representaciones anamórficas, modelos a escala, diagramas, mapas, ilustraciones, esquemas, ecuaciones matemáticas, razonamiento subrogatorio y axometrismo; lo cual muestra una gama muy diversa y amplia de aplicaciones de las representaciones no-isomórficas.

Esto nos lleva a establecer que hay diversas formas de representar cada una con diferentes fines. En muchos casos el conocimiento científico, por su complejidad, requiere combinar variados tipos de representaciones, o bien representar un mismo fenómeno con tipos diversos de representaciones. Un elemento que muestra lo complejo de este proceso es el hecho de que las representaciones, sea del tipo que sean, requieren ser interpretadas con conocimiento de fondo pertinente. En los capítulos I y V analizamos desde dos puntos de vista diferentes, cómo es que una representación científica es dependiente de teorías y requiere del conocimiento de los supuestos sobre los que está operando en un contexto científico específico. Otro aspecto de esta complejidad consiste en el carácter iterativo de la representación, como lo vimos en el capítulo V, el cual es un proceso de retroalimentación que integra representaciones de diversa índole; lo cual ilustra un escenario en donde las representaciones previas generan representaciones posteriores dentro del proceso escalonado de la medición científica. Por otra parte, en las etapas intermedias de estos procesos iterativos todas las representaciones están constituidas por diversos aspectos matemáticos, como lo vimos en los capítulos I, II y IV, aunque ello no implique que todas las representaciones sean isomórficas. Lo que quiero subrayar con esto es que todas las

representaciones involucradas en los procesos de medición científica utilizan herramientas matemáticas, aunque no por ello todas las representaciones son isomórficas, tal como lo vimos en el caso de Mohs quien definió la dureza de los minerales de una manera cuantitativa mediante una escala la cual asignaba valores numéricos a esta propiedad física de los minerales. Por lo tanto, una de las conclusiones a las cuales llego en esta investigación es que no podríamos entender satisfactoriamente los procesos de medición científica ni las múltiples funciones representacionalistas reduciendo la noción de representación sólo a representaciones isomórficas. Lo que el capítulo V muestra concluyentemente es que estos procesos iterativos, aun en los casos en que el resultado final de un proceso de medición científica sea interpretado como representación isomórfica, las representaciones no-isomórficas presentes en dicho proceso son una condición necesaria para establecer ese resultado final.

Otra conclusión que establezco en este trabajo es que en ocasiones el resultado final de una medición científica es interpretado correctamente como representación isomórfica cuando ya no hay cambio significativo en el valor asignado a la magnitud en cuestión, como en el caso que analizamos en el capítulo I en el cual van Fraassen muestra que así es en el caso de la temperatura. Este caso muestra que el valor de la temperatura es representado mediante estructuras que sin importar el tipo de método utilizado el valor sigue siendo el mismo y la estructura es representada isomórficamente. Sin embargo, habría otros casos en los cuales etapas que en realidad son intermedias de un proceso completo de medición son erróneamente interpretadas como representaciones isomórficas por ser consideradas erróneamente como etapas finales. La condición determinante para encontrar tales errores es contar con nueva información que muestre un valor muy diferente del originalmente medido. Esa nueva información típicamente proviene o bien de encontrar errores importantes en algún punto del proceso de medición, o bien del desarrollo de nuevos procesos que sean más precisos o añadan nuevos datos. Este importante aspecto de corrección de errores lo analizamos en el capítulo V en donde Michelson localiza y corrige errores en los procedimientos de Fizeau y Foucault. Lo cual nos indica que a lo largo de los procesos de medición científica, que pueden llegar a durar varios años, es tan importante metodológica y epistemológicamente desarrollar un método o proceso para medir correctamente una magnitud como otro de detección de errores.

En el capítulo V se mostró que el isomorfismo y el anamorfismo son dos técnicas representacionalistas ampliamente utilizadas en el arte que parten de la perspectiva. Una versión

completa del perspectivismo incluye al isomorfismo y al anamorfismo. Como lo vimos en los capítulos I y II, el concepto matemático de isomorfismo utilizado por van Fraassen articula su idea de representación en términos de una relación isomórfica entre dos estructuras matemáticas, lo cual supone un punto fijo de perspectiva ya que la relación uno a uno entre ambas estructuras se establece sólo desde ese único punto de vista. Esto es una de las ideas que van Fraassen subraya al utilizar la técnica de dibujo de la perspectiva isomórfica en donde si el observador cambia su posición de observación también cambiará aquello que dibuja porque ha cambiado su punto de fuga, pero sin embargo se preservan ambas estructuras; ya que el perspectivismo isomórfico preserva la correlación entre ambas estructuras aun cambiando el punto de vista. El anamorfismo, contrariamente, tal como lo vimos en el capítulo V, es un tipo de perspectivismo que explícitamente desafía las correspondencias tradicionales de las leyes de la perspectiva isomórfica particularmente al rechazar un único punto de vista para representar. Cuando se utiliza el anamorfismo para representar necesariamente hay por lo menos dos puntos de vista diferentes desde los cuales percibir el objeto o la escena que se desea representar, deformando o expandiendo la representación del objetivo. Así, el anamorfismo es un concepto inherentemente dinámico ya que requiere necesariamente que el observador modifique su punto de vista para generar una sucesión de imágenes que refieren a representaciones diferentes de un mismo objetivo y a esto le podríamos llamar *plasticidad reversible* del objetivo. Una de las principales diferencias con el perspectivismo isomórfico es que la plasticidad reversible no preserva las estructuras ya que a cada uno de los diversos puntos de observación le corresponde una diferente estructura. En otras palabras, si bien en el perspectivismo isomórfico como el anamórfico el observador puede cambiar su punto de observación al desplazarse de su posición inicial, las diferentes representaciones isomórficas que se generen en cada posición diferente serán del mismo objeto aunque desde puntos de vista diferentes, contrariamente en el perspectivismo anamórfico el objeto es el que cambia cada vez que se modifica el punto de vista. En el perspectivismo anamórfico ante un mismo objetivo el observador percibe dos objetos diferentes cuando cambia su punto de vista, desde el primer punto de vista puede estar percibiendo un árbol y desde el segundo un automóvil. Uno de los factores cognitivamente más interesantes de este caso es que el observador puede regresar del segundo punto de vista al primero para volver a observar el árbol sólo que en esta ocasión añade la información que obtuvo del segundo punto de vista por lo tanto, sabrá ahora que en realidad lo que originalmente estaba observando no era simplemente un árbol sino un “árbol-automóvil”. El punto cognitivo importante que

ilustra este ejemplo es que típicamente en el perspectivismo anamórfico a cada uno de los diferentes puntos de vista desde los cuales se observa un objetivo le corresponde información visual que puede ser contradictoria, complementaria, rectificatoria o transformadora entre los diferentes puntos de vista. El observador puede cambiar su punto de vista las veces que quiera (o que pueda) y en cada una de ellos observará un objeto diferente e integrará esa información en lo que pensaba era el objeto inicial, con lo cual al final obtendrá una imagen completa de un objeto muy diferente de lo inicialmente considerado. A ello es lo que llamo la *plasticidad reversible* del perspectivismo anamórfico, en el cual por las razones antedichas no puede suponer una noción de representación isomórfica.

A lo largo de la toda la presente investigación se ha tomado en serio la idea de van Fraassen de que la medición científica es perspectivista, sin embargo aquí trazo la mencionada distinción entre perspectivismo isomórfico y perspectivismo anamórfico la cual van Fraassen no la considera. Tal como lo vimos, él ha establecido una analogía entre el arte y la ciencia para mostrar que el arte con la perspectiva cuando representa mide de manera análoga que la ciencia cuando mide representa; de igual manera, muestra que la representación tanto en el arte como en la ciencia es perspectivista. Ambas técnicas son perspectivistas pero de supuestos fundamentales muy diferentes, tal como lo he explicado. En casos de representaciones genuinamente isomórficas, el isomorfismo supone que hay dos estructuras en donde una se subsume en la otra, como lo mencionamos arriba; contrariamente el anamorfismo no supone estructuras rígidas cuya relación entre ellas no es de incrustación. Las representaciones anamórficas no son realizadas desde solo un punto de vista como en el perspectivismo isomórfico, sino que requieren la integración de varios puntos de vista diferentes de un mismo objetivo. En el perspectivismo anamórfico un mismo objetivo puede observarse poseyendo formas, colores, texturas e incluso tamaños diferentes dependiendo del punto de vista desde donde se observe. Contrariamente, si bien las representaciones isomórficas también dependen de un punto específico de observación, éste no es constitutivo de la relación entre ambas estructuras en el sentido de que en el isomorfismo aunque se cambie la perspectiva que genera representaciones no por ello se modifican las estructuras involucradas, en todo caso se modifica sólo el punto de vista.

Teniendo en mente estas diferencias entre el perspectivismo isomórfico y el anamórfico, hay dos conclusiones centrales que quiero establecer y explicar. La primera es que sólo el perspectivismo anamórfico funciona como una metáfora adecuada y fértil de la medición científica en su sentido de *proceso*. La segunda se refiere a la medición científica como *producto* y afirmo, a diferencia de van

Fraassen, que en algunos casos el perspectivismo anamórfico es una mejor metáfora para entender la representación científica asociada al producto de la medición. Respecto a la primera conclusión consideré, en el capítulo V, que sería potencialmente fértil entender metafóricamente el *proceso* de medición científica en términos del perspectivismo anamórfico de la siguiente forma. En primer lugar, como vimos la idea central del perspectivismo anamórfico radica en que al observar un mismo objeto desde perspectivas diferentes cada una de ellas nos puede proveer información que difícilmente hubiéramos podido anticipar si no hubiéramos nuestra perspectiva original. Ha de subrayarse que el cambio de perspectiva genera un aumento en la cantidad y tipo de la información del objeto observado al grado de que se puede considerar con cada cambio de perspectiva que hay un cambio cognitivo importante. El ejemplo de la escultura “árbol-automóvil” ilustra este punto, ya que sin el cambio del punto de vista *no podríamos darnos cuenta de nuestro error de juicio* al considerarla solamente como “árbol” o como “automóvil”. Este punto epistémico y cognitivo central implícito en el perspectivismo anamórfico es el que encontramos de igual manera cuando uno analiza históricamente los procesos de medición científica, específicamente aquellos en los que por primera vez se desea determinar el valor de un parámetro científicamente relevante. Los procesos de medición científica son en realidad procesos dinámicos autocorregibles y en cierto sentido plásticos, los cuales inician históricamente a partir de un estado específico de conocimientos el cual se va modificando conforme se desarrollan etapas sucesivas de investigación, tal y como lo ha establecido Chang (Chang, 2006). La sucesión de estas etapas conforman el proceso histórico completo de medición que finalmente llega a determinar el valor específico de la magnitud física que inicialmente se buscaba. Cada una de dichas etapas tiene rasgos diferentes que pueden ir desde obtener nueva información, resolver problemas específicos, calcular valores desconocidos, descubrir errores, etc. Como lo vimos en el caso de la medición de la velocidad de la luz en dicho capítulo, cada una de las etapas que estuvieron involucradas en la investigación de Michelson tuvieron los rasgos señalados y la información y/o los problemas resueltos en etapas posteriores modificaba, ajustaba y/o corregía los resultados de las etapas anteriores, lo cual genera un proceso de continuo ajuste a través de varias etapas.¹¹⁷ La idea central de este tipo de proceso es que las etapas posteriores tienen como una de sus finalidades epistémicas fundamentales revisar y en su caso corregir los resultados de las etapas anteriores y reintegrarlos en nuevos cálculos actualizados.

¹¹⁷ Este mismo proceso ha sido llamado por Hasok Chang (2006) *iteración epistémica* y significa “un proceso en el cual etapas sucesivas de conocimiento, cada una edificada sobre las anteriores, son creadas con el fin de mejorar el logro de ciertas epistémicas” (Chang, 2006, p. 45).

Nótese que a lo largo de este proceso pueden eliminarse resultados de etapas anteriores pero lo que persiste a lo largo de todo el proceso es el objetivo a medir. Al inicio de este proceso el científico sabe qué se quiere medir pero lo que no puede saber es la naturaleza de los problemas que enfrentará en cada una de las etapas y mucho menos saber por adelantado cuáles serán éstas.

Otro rasgo cognitivo fundamental que presenta el perspectivismo anamórfico consiste en ir integrando sucesivamente la información obtenida cada vez en que cambiamos de punto de perspectiva de manera tal que, aunque dos informaciones sean incompatibles, al final nos formamos una imagen compuesta y unificada. Tal como se ha dicho, el perspectivismo anamórfico requiere permanentemente cambiar el punto de vista con el fin de recolectar diferente información sobre un mismo objetivo para finalmente elaborar una representación compuesta. De igual forma, cada una de las etapas en que históricamente se constituyen los procesos de medición científica pueden considerarse metafóricamente como cada uno de los puntos de vista que requiere para constituirse una representación anamórfica. Así, al igual que esta sucesión de puntos de vista le permiten al observador integrar y/o corregir la información visual obtenida en los puntos de vista anteriores para finalmente descifrar qué es en realidad lo que inicialmente estaba observando, al científico cada etapa sucesiva del proceso de medición científica le permite obtener, completar y/o corregir la información de lo que originalmente quería medir. De igual manera, así como uno de los puntos cognitivos fundamentales del perspectivismo anamórfico que es una condición necesaria para conocer qué objeto estamos observando es el cambiar de perspectiva con el fin explícito de corregir lo observado en etapas anteriores, las etapas sucesivas que históricamente constituyen el proceso de medición científica sirven para integrar diferente tipo de información que permite conocer el valor del parámetro que se quiere establecer.

Considerar el proceso de medición científica desde la metáfora del perspectivismo anamórfico permite ver que las sucesivas representaciones obtenidas dentro de dicho proceso no son fijas y que éstas siempre pueden ser vistas desde al menos otro punto de vista a la luz de nueva información. En el caso estudiado de la medición terrestre de la velocidad de la luz llevada a cabo por Michelson, vimos que de todas las etapas que conformaron dicha medición, y que analíticamente pueden aislarse, no todas ellas pueden interpretarse en términos representacionistas, sean isomórficas o anamórficas. Algunas etapas explícitamente no tienen fines representacionistas como por ejemplo, elaborar cálculos, ajustar de instrumentos, procesos de revisión iterativos, etc. Dentro de las etapas que sí son

representacionistas no todas ellas pueden ser interpretadas desde el perspectivismo isomórfico, ya que hay otros tipos de representación que no suponen dicho perspectivismo. Por ejemplo, imágenes que sirven para hacer comparaciones entre ellas para rectificar datos, verificación de las distintas imágenes para elegir entre las más nítidas, etc. en donde todas ellas son representaciones. Este tipo de perspectiva permite entender que las representaciones científicas se realizan dentro de un proceso y que éstas no son fijas sino relacionadas unas con otras en un proceso de medición multietapas.

La segunda conclusión que quiero establecer se refiere a la medición científica como *productio*. Siguiendo la metáfora que usa van Fraassen de la perspectiva y enfatizando que la interpretación que le da es isomórfica, afirmo que en algunos casos dicha metáfora no funciona y que dentro de estos casos algunos se interpretan mejor desde un perspectivismo anamórfico. Particularmente, algunos ejemplos de estos casos los analicé en el capítulo I en donde vimos que van Fraassen toma de Giere el análisis sobre las imágenes generadas a través de las observaciones astronómicas. Vimos que Giere examinó que las fotografías astronómicas de objetos celestes como galaxias, nebulosas, o incluso cometas, son elaboradas en diversas etapas en donde en cada una se articulan diferentes datos obtenidos por diferentes instrumentos (entiéndase telescopios) y que finalmente se compone una imagen final con base en el método de superposición de imágenes. En dicho método cada fotografía astronómica en realidad se compone de una serie de fotografías que captan diferente frecuencia del espectro electromagnético y se superponen en una sola imagen, y cada una de ellas provee diferente información sobre aquello que es fotografiado. En otras palabras, mediante cada rango de luz captado individualmente se infiere información diferente de diversos parámetros astronómicamente relevantes; de fotografías de rayos X, infrarrojo, ultravioleta o de luz visible, obtenemos diferente información ya sea de la temperatura, composición química, edad, velocidad o estructura de los cuerpos celestes. Al conformar una sola imagen con base en diferentes fotografías se obtiene una sola fotografía final que acumula toda la información de sus fotografías que la componen. En esta técnica composicional de imágenes, la última fotografía es una representación del objeto astronómico en cuestión y difícilmente se podría interpretar en términos de un perspectivismo isomórfico. Téngase en cuenta que esta técnica composicional de obtención de información a través de la elaboración de imágenes compuestas está en la base no sólo de la cosmología contemporánea si no de otras áreas científicas ya sean teóricas o aplicadas, como la climatología, algunas áreas de la geología, diagnósticos médicos, oceanografía, geografía, etc. El perspectivismo isomórfico es inadecuado para dar cuenta del tipo de representación involucrado en

estas imágenes compuestas por las siguientes razones. En primer lugar, en dichas representaciones el tipo de relación no es de isomorfismo entre el lenguaje matemático y las estructuras matemáticas que describen a los objetos astronómicos, sino que como ya se mencionó la relación que impera en este tipo de representaciones es de inferencia y/o interpretación de datos a partir de las imágenes obtenidas por medio de las frecuencias de luz. En segundo lugar, a diferencia del perspectivismo isomórfico en donde es suficiente con un solo punto de vista para generar una imagen que representa, este tipo de imágenes compuestas requieren varias imágenes tomadas desde diferentes lugares o bien con diferentes rangos de luz, o ambos. Por ejemplo, como arriba se mencionó diferentes satélites colocados en diferentes puntos orbitales toman fotografías de diferente rango del espectro electromagnético. Hay que subrayar el hecho de que debido a la gran distancia a la cual están los objetos celestes estudiados con esta técnica todas las fotografías que componen a la imagen final son tomadas en realidad desde un solo y único punto de vista, por muy distantes que estén entre sí los satélites utilizados. Sin embargo, en este caso las diferentes perspectivas no se refieren a modificar en cada foto el lugar desde donde se observa el objetivo, sino más bien se refiere a modificar el rango de luz del espectro electromagnético. En otras palabras, sería como si un observador inmóvil observara a una escultura “anamórfica” fija que es sucesivamente iluminada con diferente tipo de luz y en cada caso el observador ve un objeto diferente. Ambos casos son ejemplos de perspectivismo anamórfico ya que sea variando sucesivamente el *lugar* desde donde se observa el objeto o bien variando sucesivamente el *tipo* de luz, son necesarias esas variaciones para *saber* de manera más completa qué es lo que se está observando. En tercer lugar, se podría decir metafóricamente que estas imágenes compuestas en astronomía finalmente se obtienen de una manera similar a como el perspectivismo anamórfico genera la imagen final comparando e integrando diferentes perspectivas de un mismo objeto anamórfico. De igual manera, la fotografía final en esta técnica astronómica se compone de la superposición de todas aquellas imágenes obtenidas con base en frecuencias diferentes de luz las cuales se superponen en la representación final. Es importante añadir aquí otro elemento perspectivista que tiene que ver con el contexto teórico-conceptual en el cual se desarrollan las técnicas de observación astronómica. En este contexto, las imágenes compuestas serían en realidad de una gran variedad dependiendo de los requerimientos teóricos para cada caso. Por ejemplo, en ocasiones debido a fines específicos de investigación se requerirá medir la temperatura de dichos objetos astronómicos en tal caso serán necesarias fotografías en infrarojo; si se requiere medir la velocidad entonces será necesario detectar el “corrimiento al rojo”, etc. Podríamos referirnos a estos

diferentes requerimientos teóricos como diferentes perspectivas teóricas, con lo cual la metáfora del perspectivismo anamórfico incorpora de varios sentidos la idea de que el objetivo se tiene que observar desde diferentes perspectivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, Ernest, W., “On the nature and Purpose of Measurement”, en *Synthese*, vol. 16, núm. 2, 1966, pp. 125-169.
- Alspector-Kelly, Mark, “Should the Empiricist Be a Constructive Empiricist?”, en *Philosophy of Science*, vol. 68, núm. 4, diciembre 2001, pp. 413-431.
- Bailer-Jones, Daniela, *Scientific Models in Philosophy of Science*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2009.
- Balzer, Wolfgang, “The structuralist view of measurement: An extension of received measurement theories”, en *Philosophical and Foundational Issues in Measurement Theory*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1992, pp. 93-117.
- Banks, Erik C., “Extension and measurement: A constructivist program from Leibniz to Grassmann”, en *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 44, 2013, pp. 20–31.
- Barberousse, Anouk y Pascal, Ludwig, “Models as Fictions”, en *Fictions in Science Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, Nueva York, Routledge, 2009, pp. 56-73.
- Batitsky, Vadim, “Empiricism and the myth of fundamental measurement”, en *Synthese*, vol. 116, núm. 1, 1998, pp. 51-73.
- Berka, Karel, *Measurement, its Concepts, Theories and Problems*, Holanda, D. Reidel Publishing Company, 1983.
- Bertoloni, M. Domenico, *Thinking with objects*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 2006.
- Bork, Alfred, M., “Physics just before Einstein”, en *Science*, nueva serie, vol. 152, núm. 3722, 1966, pp. 597-603.
- Boumans, Marcel, “Measurement Outside the Laboratory”, en *Philosophy of Science*, vol. 72, 2005, pp. 850-863.
- Branding, Katherine, “Structuralist approaches to physics: Objects, models and modality”, en Peter Bokulich y Alicia Bokulich (eds.), *Scientific Structuralism*, Boston, Springer, 2011.

- Breidbach, Olaf, “Representation of the microcosm: The claim for objectivity in 19th century scientific microphotography”, en *Journal of the History of Biology*, vol. 35, núm. 2, 2002, pp. 221-250.
- Bridgman, P., W., *Dimensional Analysis*, Nuevo Haven, Yale University Press, 1931.
- _____, “Operational Analysis Research”, en *Philosophy of Science*, vol. 5, 1938, pp. 114-131.
- Brumfiel, Geoff, “Common interpretation of Heisenberg's uncertainty principle is proved false”, en *Nature*, Nature Publishing Group, septiembre, 2012, [doi:10.1038/nature.2012.11394].
- Boniolo, Giovanni, *On Scientific Representations. From Kant to a New Philosophy of Science*, Gran Bretaña, Palgrave Macmillan, 2007.
- Bueno, Otávio; Steven French; James Ladyman, “On representing the relationship between the mathematical and the empirical”, en *Philosophy of Science*, vol. 69, núm. 3, 2002, pp. 497-518.
- Bueno, Otávio, “Visual Evidence at the Nanoscale”, en *Spontaneous Generations*, vol. 2, núm. 1, University of Toronto, 2008, pp. 132-138.
- _____, “Structuralism and Information”, en *Metaphilosophy*, vol. 41, núm. 3, abril 2010, pp. 365- 379.
- _____, “Partial truth and visual evidence”, en *Principia*, vol. 15, núm. 2, 2011, pp. 249-270.
- _____, *et. al.*, “Scientific representation: A long journey from pragmatics to pragmatics”, en *Metascience*, vol. 20, 2011, pp. 417-442.
- Campbell, N. R., *Physics The Elements*, Londres, Cambridge University Press, 1920.
- Chang, Hasok, *Inventing Temperature*, Oxford, Oxford University Press, 2004.
- Chakravartty, Anjan, “Truth and representation in Science: Two inspirations from art”, en *Beyond Mimesis and Nominalism: Representation in Art and Science*, Conferencia internacional en Londres 22-23, junio 2006, London School of Economics and the Courtauld Institute.
- _____, “Perspectivism, inconsistent models, and contrastive explanation”, en *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 41, 2010, pp. 405-412.

- Darrigol, Olivier, *Electrodynamics from Ampere to Einstein*, Oxford, Oxford University Press, 2000.
- _____, “Number and measure: Hermann von Helmholtz at the crossroads of mathematics, physics, and psychology”, en *Studies in History of Philosophy Science*, vol. 34, 2003, pp. 515-573.
- Dear, Peter, *The Intelligibility of Nature, How Science Makes Sense of the World*, Chicago, The University of Chicago Press, 2006.
- Dickson, Michael, “An empirical reply to empiricism: Protective measurement opens the door for quantumrealism”, en *Philosophy of Science*, vol. 62, núm. 1, 1995, pp. 122-14.
- Diez, Jose A., “A hundred years of numbers. An historical introduction to measurement theory 1887-1990. Part I: The formation period. Two lines of research: Axiomatics and real morphisms, scales and invariance”, en *Studies in History of Philosophy Science*, vol. 28, núm. 1, 1997, pp. 167-185.
- _____, “A Hundred Years of Numbers. An Historical introduction to measurement theory 1887-1990. Part II: Suppes and the mature theory and uniqueness”, en *Studies in History of Philosophy Science*, vol. 28, núm. 2, 1997, pp. 231-265.
- Ellis, B., *Basic Concepts of Measurement*, Londres, Cambridge University Press, 1968.
- Encyclopedia of Philosophy*, 2a edición, Detroit, Macmillan Reference, 2006.
- Ferguson, A.; C.S., Myers; R.J., Bartlett, ; H., Banister; F.C., Bartlett; W., Brown; N.R., Campbell; K.J.W., Craik; J., Drever; J., Guild; R.A., Houstoun; J.O., Irwin; G.W.C., Kaye; S.J.F., Philpott; L.F. Richardson; J.H., Shaxby; T., Smith; R.H., Thouless; y W.S., Tucker, “Quantitative Estimates of Sensory Events”, en Final BAAS Report, en *Advancement of Science*, vol. 2, 1940.
- Fine, Arthur, “The scientific image twenty years later”, en *Philosophical Studies*, núm. 106, 2001, pp. 107–122.
- Finkelstein, Ludwik, “Widely-defined measurement -An analysis of challenges”, en *Measurement*, vol. 42, 2009, pp. 1270–1277.
- Franklin, Allan, *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.
- French, Steven, “A model-theoretic account of representation (or, I don’t know much about art . . . but I know it involves isomorphism)”, en *Philosophy of Science*, vol. 70, 2003, pp. 1472-1483.

- Frigerio, Aldo; Alessandro, Giordani; Mari, Luca, "Outline of a general model of measurement", en *Synthese*, vol. 175, 2010, pp. 123–149.
- Frigg, Roman, "Fiction and Scientific Representation", en *Beyond Mimesis and Convention, Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. 262, 2010, pp. 97-138.
- Foucault, Michel, *Esto no es una pipa, ensayo sobre Magritte*, Barcelona, ed. Anagrama, 1997.
- Giere, Ronald, "How models are used to represent reality", en *Philosophy of Science*, vol. 71, núm. 5, (Proceedings of the 2002 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers), 2004, pp. 742-752.
- _____, *Scientific Perspectivism*, Chicago, Chicago University Press, 2006.
- _____, "Essay review: Bas C. van Fraassen: *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*", en *Philosophy of Science*, vol. 76, núm. 1, 2009, pp. 101-111.
- _____, "An agent-based conception of models and scientific representation", en *Synthese*, vol. 172, 2010, pp. 269-281.
- Gonzalez, Wenceslao, J., "On Representation and Models in Bas van Fraassen's Approach", en *Bas van Fraassen's Approach to Representation and Models in Science*, Dordrecht-Heidelberg-Nueva York-Londres, Springer, 2014.
- Gooday, Graeme, "Precision measurement and the genesis of physics teaching laboratories in Victorian Britain", en *BJHS*, núm. 25, 1990, pp. 25-51.
- _____, *The Morals of Measurement: Accuracy, Irony and Trust in Late Victorian Electrical Practice*, Nueva York/Cambridge, Cambridge University Press, 2004.
- Hacking, Ian, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.
- _____, "Philosophers of experiment", en *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Volumen dos: *Symposia and Invited Papers*, Chicago, The University of Chicago Press, 1988, pp. 147-156.
- Hooke, Robert, *Micrographia Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries Thereupon*, Londres, printed by John Martyn y James

- Allestry, Printers to the said Society, noviembre 23, 1664.
- Hunt, J., *et al.*, “Anamorphic images”, en *American Journal of Physics*, 68, 2000, pp. 232-237.
- Ibarra, Andoni y Thomas Mormann, “Una teoría combinatoria de las representaciones científicas”, en *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. XXXII, núm. 95, agosto 2000, pp. 3–46.
- Iranzo, Valeriano, “Models and Phenomena: Bas van Fraassen's Empiricist Structuralism”, en *Bas van Fraassen's Approach to Representation and Models in Science*, Dordrecht-Heidelberg-Nueva York-Londres, Springer, 2014.
- Johnston, F., Sean, *A History of Light and Colour Measurement Science in the Shadows*, Bristol y Filadelfia, Institute of Physics Publishing, 2001.
- Krantz, D.H.; R.D., Luce; P., Suppes; A., Tversky, *Foundations of Measurement, Vol. I: Additive and polynomial representations*, Nueva York, Academic Press, 1971.
- Knuuttila, T., “Modelling and representing: an artefactual approach to model-based representation”, en *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 42, núm. 2, 2011, pp. 262–271.
- Kuhn, Thomas S., “The function of measurement in modern physical science”, en *Isis*, vol. 52, núm. 2, 1961, pp. 161-193.
- Kula, Witold, *Las medidas y los hombres*, México, Siglo XXI, 1990.
- Kyburg, Henry, E., *Theory and measurement*, Nueva York, Cambridge University Press, 2009.
- Ladyman, James, *et. al.*, “Scientific representation: A long journey from pragmatics to pragmatics”, en *Metascience*, vol. 20, 2011, pp. 417–442.
- Li, Hengwei, *et. al.*, “Representation and development of cognition”, en *Frontiers of Philosophy in China*, vol. 2, núm. 4, 2007, pp. 583-600.
- L. C., Treviranus, *Die Anwendung des Holzschnittes zur bildlichen Darstellung von Pflanzen. Nach Entstehung, Blüthe, Verfall und Restauration* (1855), Leipzig, Utrecht, W. de Haan, 1949.
- MacKay, R. J. y R. W., Oldford, “Scientific Method, Statistical Method and the Speed of Light”, en *Statistical Science*, vol. 15, núm. 3, 2000, pp. 254-278.
- McMullin, Ernan, “Van Fraassen's unappreciated realism”, en *Philosophy of Science*, vol. 70, núm. 3, 2003, pp. 455-478.
- Malafouris, Lambros, “Grasping the concept of number: How did the sapient mind move beyond

approximation?”, en Iain Morley y Colin Renfrew (eds.) *The Archaeology of Measurement: Comprehending Heaven, Earth and Time in Ancient Societies*, Cambridge, Cambridge University Press, 2010.

Martínez, Sergio F., “Historia y combinatoria de las representaciones científicas. Comentarios a la propuesta de Ibarra y Mormann (History and Combinations Scientific Representations. Comments to a Proposal by Ibarra and Mormann)”, en *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. 33, núm. 99, diciembre 2001, pp. 75-95.

Maxwell, Clerk, J., “On the theory of compound colours, and the relations of the colours of the spectrum”, en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 150, 1860, pp. 57-84.

_____, “On a method of making a direct comparison of electrostatic with electromagnetic force; with a note on the electromagnetic theory of light”, en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 158, 1868, pp. 643-657.

_____, *Materia y movimiento*, Barcelona, ed. Crítica, 2006.

Michell, Joel, “The logic of measurement: A realist overview”, en *Measurement*, vol. 38, 2005, pp. 285-294.

_____, “Measurement” en *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Anthropology and Sociology*, Holanda, Elsevier, 2007.

_____, “Bertrand Russell’s 1897 critique of the traditional theory of measurement”, en *Synthese*, vol. 110, 1997, pp. 257–276.

Michelson, Albert, A., y Edward, W., Morley, “On the relative motion of the earth and the luminiferous ether”, en *The American Journal of Science*, vol. XXXIV, núm. 203, 1887, pp. 333-345.

Michelson, Albert, Abraham, “A modification of the revolving mirror method for measuring the velocity of light”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 6, núm, 8, 1920, pp. 476-477.

_____, “Experimental determination of the velocity of light”, en *The Scientific Monthly*, vol. 27, núm. 6, 1928, pp. 562-565.

Michelson, A., A.; F., G., Pease; F., Pearson, “Measurement of the velocity of light in a partial

- vacuum”, en *Science*, nueva serie, vol. 81, núm. 2091, 1935, pp. 100-101.
- Miller, Harvey J. y Elizabeth A., Wentz, “Representation and spatial analysis in aeographic information systems”, en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 93, núm. 3, septiembre, 2003, pp. 574-594.
- Mitchell, Sam, “Book review: *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*”, en *Metaphilosophy* vol. 41, núm. 5, octubre, 2010, pp. 717-722.
- Monton, Bradley, Essay review: “An empiricist regarding science, an empiricist regarding representation”, en *The Philosophical Quarterly*, vol. 60, núm. 239, 2010, pp. 413-417.
- Morgan, M. and M., Morrison, (eds.), *Models as Mediators: Essays in the Philosophy of the Natural and Social Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.
- Morrison, Margaret, “Fictions, Representations and Reality”, en *Fictions in Science Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, Nueva York, Routledge, 2009, pp. 110-135.
- Muller, F. A., “Can a constructive empiricist adopt the concept of observability?”, en *Philosophy of Science*, vol. 71, núm. 4, 2004, pp. 637-654.
- _____, “The insidiously enchanted forrest. Essay review of ‘Scientific Representation’ by Bas C. van Fraassen” en *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol. 40, 2009, pp. 268–272.
- Muller, F. A., y B. C., van Fraassen, “How to talk about unobservables”, en *Analysis*, vol. 68, núm. 3, 2008, pp. 197–205.
- Mundy, Brent, “On the general theory of meaningful representation”, en *Synthese*, vol. 67, 1986, pp. 391-437.
- _____, “Faithful representation, physical extensive measurement theory and archimedean axioms”, en *Synthese*, vol. 70, 1987, pp. 373-400.
- Nagel, Ernest, “Measurement”, en *Erkenntnis*, vol. 2, 1931, pp. 313-335.
- Pincock, Christopher, *Mathematics and Scientific Representation*, Oxford, Oxford University Press, 2012.
- Psillos, Stathis, “The structure, the whole Structure, and nothing but the structure”, en *Philosophy of*

Science, vol.73, 2006, pp. 560–70.

_____, “The View from Within and the View from Above: Looking at van Fraassen's Perrin”, en *Bas van Fraassen's Approach to Representation and Models in Science*, Dordrecht-Heidelberg-Nueva York-Londres, Springer, 2014.

Robinson, Andrew, *The Story of Measurement*, Londres, Thames y Hudson, 2007.

Roche, John J., *The Mathematics of Measurement, A critical history*, Londres, The Athlone Press, Spinger, 1998.

Russell, B., *Principles of Mathematics*, Londres, Bradford and Dickens, 1903.

Scolari, Massimo, *Oblique Drawing. A history of anti-perspective*, Cambridge Massachusetts, The Massachusetts Institute of Technology, 2012.

Scott, D. y Patrick Suppes, “Foundational aspects of theories of measurement”, Reporte Técnico núm. 6, abril 1, del Laboratorio de matemáticas aplicadas y estadística de la Universidad de Stanford, Stanford, California, 1957.

Sherry, David, “Thermoscopes, Thermometers, and the Foundations of Measurement”, en *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 42, 2011, pp. 509-524.

Siegel M., Daniel, *Innovation in Maxwell's electromagnetic theory*, Cambridge, Cambridge University Press, 1991.

Stevens, S. S., “On the theory of scales of measurement”, en *Science*, nueva serie, vol. 103, núm. 2684, 1946, pp. 677-680.

Suarez, Mauricio, “Scientific representation: Against similarity and isomorphism”, en *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 17, 2003, pp. 225-44.

_____, “An Inferential Conception of Scientific Representation”, en *Philosophy of Science*, vol. 71, 2004, pp. 767-79.

_____, “The Semantic view, empirical adequacy, and application (Concepción semántica, adecuación empírica y aplicación)”, en *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. 37, núm. 109, 2005, pp. 29-63.

_____, Otávio Bueno, James Ladyman y Bas C. van Fraassen “Scientific representation: A

- long journey from pragmatics to pragmatics” Review of Bas Van Fraassen, *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, en *Metascience*, vol. 20, núm. 3, 2009, pp. 417-442.
- Suppes, P. y Joseph L. Zinnes, “Basic Measurement Theory”, en Luce, Bush y Galanter (eds.) *Handbook of Mathematical Psychology, Vol. I*, Nueva York, John Wiley and sons, 1963.
- Swoyer, Chris, “Structural representation and Surrogate Reasoning”, en *Synthese*, vol. 87, 1991, pp. 449-508.
- Teller, Paul, “Whither Constructive Empiricism?”, en *Philosophical Studies*, núm.106, 2001, pp. 123–150.
- _____, “The concept of measurement-precision”, en *Synthese*, vol. 190, 2013, pp. 189-202.
- van Fraassen, Bas C., *The Scientific Image*, Oxford, Oxford University Press, 1980.
- _____, “Constructive Empiricism Now”, en *Philosophical Studies*, vol. 106, 2001, pp. 151–70.
- _____, *The Empirical Stance*, Nueva Haven, Yale University Press, 2002.
- _____, “Representation: the Problem for Structuralism”, en *Philosophy of Science*, vol.73, 2006, pp. 536–47.
- _____, “Structure: its substance and shadow”, en *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 57, 2006, pp. 275–307.
- _____, *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford, Clarendon press, Oxford University Press, 2008.
- _____, “Modeling and Measurement: The Criterion of Empirical Grounding”, en *Philosophy of Science*, vol. 79, núm. 5, 2012, pp. 773–784.
- Whittaker, E. T., *Theories of Aether and Electricity from the Age of Descartes to the Close of the Nineteenth Century*, Dublin, Longmans Green and Co., 1910.
- Woodward, Jim, “Data and Phenomena”, en *Synthese*, vol. 79, núm. 3, 1989, pp. 393-472.
- Youden, W., J., *Experimentation and Measurement*, Estados Unidos de Norteamérica, reimpression del U.S. Department of Commerce's National Institute of Standards and Technology, 1997.