

**TESIS DOCTORAL**

**APROXIMACIÓN AL DEBATE DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS DESDE  
UNA PERSPECTIVA INFERENCIALISTA**

**PRESENTADA POR**

**ROSA NIDIA TUAY SIGUA**

**LICENCIADO EN FÍSICA**

**MAGISTER EN DOCENCIA DE LA FÍSICA**



**DEPARTAMENTO DE LÓGICA, HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA**

**AGOSTO 2011**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA**  
**FACULTAD DE FILOSOFÍA**  
**DEPARTAMENTO DE LÓGICA, HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**APROXIMACIÓN AL DEBATE DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS DESDE  
UNA PERSPECTIVA INFERENCIALISTA**

**MEMORIA PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR**

**PRESENTADA POR**

**ROSA NIDIA TUAY SIGUA**

**LICENCIADA EN FÍSICA**

**MAGISTER EN DOCENCIA DE LA FÍSICA**

**Bajo la Dirección del Doctor:**

**JESUS ZAMORA BONILLA**

Un espacio para los agradecimientos debe iniciar con mi infinita gratitud hacia mis padres, por darme la existencia. A mis hermanos, por permitir que volara la imaginación. A mi esposo Edgar, por acompañarme en la construcción de sueños y a mis hijos, Mayra Alejandra y Edgar Andrés, por apoyarme en la realización de mis metas,

A los profesores del Departamento de Lógica, por acompañarme en mi proceso de formación académica en el Doctorado. A los profesores Jesús Zamora y David Teira, por acompañarme y animarme en todo momento, para no desfallecer en los propósitos.

Al profesor Andrés Rivadulla, compartirme sus conocimientos en las estancias académicas en Madrid.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	6
CAPÍTULO I.....	29
APROXIMACIÓN AL DEBATE DE LAS REPRESENTACIONES CIENTÍFICAS.....	298
INTRODUCCIÓN.....	28
1.1 Las representaciones científicas bajo la lupa .....	309
1.2 Hacia una elucidación de la práctica científica de las representaciones: la tradición pragmática.....	31
1.3 Hacia una teoría general de las representaciones científicas.....	45
1.4 Concepciones filosóficas acerca de los modelos como representación.....	51
1.5 Puntos de vista productivos de los modelos en la práctica científica.....	57
1.6 Recapitulación.....	73
CAPÍTULO II .....	77
EL PAPEL DE LOS MODELOS EN LA PRÁCTICA CIENTÍFICA .....	77
INTRODUCCIÓN .....	776
2.1 Concepciones acerca de los modelos .....	787
2.1.1 <i>Concepción Semántica</i> .....	787
2.1.2 <i>Concepción Funcionalista</i> .....	81
2.1.3 <i>Concepción Epistémica</i> .....	84
2.1.4 <i>Concepción Inferencial</i> .....	886
2.2 Uso de los modelos en la ciencia .....	898
2.2.1 <i>Funciones de los modelos como representación</i> .....	909
2.2.3 <i>Modelos como razonamiento sustitutivo</i> .....	112
2.2.4 <i>Modelos como explicaciones</i> .....	11413
2.3 Recapitulación.....	11514
CAPÍTULO III.....	117
FORMULACIÓN PRAGMÁTICA DE LA SEMÁNTICA APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.6</b>
INTRODUCCIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.6</b>
3.1 El Fenómeno de lo Pragmático-Normativo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.7</b>
3.2 Teoría Pragmática de los modelos científicos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.20</b>
3.3 Virtudes de los modelos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.26</b>

3.4	Construcción de modelos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	34
3.5	Función de los modelos idealizados.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	41
3.6	Recapitulación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	45
CAPÍTULO IV .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	8
PAPEL DE LA IDEALIZACIÓN Y CONCRETIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	8
INTRODUCCIÓN .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	8
4.1	El Papel de las simulaciones .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	9
4.2	Hacia una teoría pragmática de las simulaciones.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	53
4.3	Credibilidad de las simulaciones.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	6
4.4	Recapitulación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	71
CONCLUSIONES .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....			1887

## INTRODUCCIÓN

“Conocer es representar” es quizás una de las expresiones que más se leen en libros sobre epistemología. La palabra representar viene del término latín *repraesentare*, que consta de dos partes: *re* que significa nuevo y *praesentare* —*para* que significa *delante* y *esse* que significa *estar*—. De tal manera, *praesentare* significa *estar delante*, por lo que se podría interpretar como “la acción de poner una cosa al frente de un observador”. Por tanto, “representar” se puede traducir como “colocar algo de nuevo algo al frente”. Solo en ese sentido es posible hablar de una representación como imagen de una cosa.

Da Vinci (1827) consideraba que conocer implica realizar una pintura, fiel o no, del mundo. El hecho de que la pintura imite la naturaleza lo llevó a pensar que la primera debería ser considerada una ciencia, pues toda ciencia pretende realizar una imitación fiel del mundo. De esta manera, se emprende cualquier actividad cognitiva con el ánimo de obtener copias de la realidad. El autor también agregó que la representación pictórica de la realidad puede llegar a causar confusión entre la figura y lo figurado:

Vi yo en cierta ocasión una pintura que, por obra de su semejanza con el amo, engañaba al perro, y éste le hacía grandísimas fiestas. De igual manera he visto a perros que ladraban y pretendían morder a perros pintados, y a una mona hacer infinitas tonterías frente a otra mona pintada.

La pintura requiere de técnicas que permitan intuir y reconocer el espíritu y la intención del autor, y estas condiciones las atribuye a la perspectiva. A partir de este planteamiento, se puede contar con una disciplina que dispone de una serie de técnicas mediante las cuales es posible engañar la visión.

Estos planteamientos recogen, en cierto modo, algunas de las pretensiones de la ciencia occidental según algunos filósofos. Todo lo que puede existir, según Da Vinci, es reproducible. Por lo tanto, conocer no es solo hacer una simple copia sino objetivar lo

captado por el espíritu, es decir, decodificar y conocer desde el interior aquello que no se puede figurar.

Descartes (1981) también propuso esta analogía entre conocimiento y visión desde otra perspectiva: “La mente contempla el mundo, pero no lo hace en forma inmediata, lo hace mediado por la representación”. Esto significa que cuando se abren los ojos no se contempla directamente al mundo, sino que se ve su representación en el escenario mental. Así, la experiencia sensible se dedica a aportar representaciones pictóricas de una realidad que se sabe diferente.

Esto indica que hablar sobre la naturaleza del conocimiento conlleva necesariamente al tema de las representaciones. Se podría partir sobre preguntas fundamentales acerca de las representaciones: ¿Qué es una representación? ¿A qué categorías pertenece? ¿Qué propiedades tienen las representaciones científicas? ¿Qué relación se establece entre los modelos y las representaciones científicas?

Este apartado se dedicará al debate que sobre estas preguntas han dado los filósofos de la ciencia y que darán cuenta del estado actual del tema de las representaciones y los modelos científicos tratados en esta Tesis Doctoral.

### *¿Qué es una representación?*

Frente a la primera cuestión, como lo plantea Descartes, las representaciones son el medio para acceder al conocimiento, y así se asume desde algunas perspectivas filosóficas actuales: la cognición está mediada por la representación. La ciencia, a su vez, opera con representaciones y aporta los fundamentos y devela la perspectiva del conocimiento en general. Según Suárez (2003), “la representación científica es una relación fáctica entre entidades en el mundo que pueden ser estudiadas por la ciencia”. Estas entidades reales en el mundo pueden ser objetos físicos, sistemas, modelos, diagramas, imágenes o ecuaciones.

La noción de representación es clave en muchos de los debates actuales en el campo de la filosofía de la ciencia, como el de realismo-antirrealismo. Para los realistas, realidad y representación parecen fundirse en una sola pieza, pero un acto de un sujeto conocedor hace posible la distinción. Se da una correspondencia entre la estructura de las teorías y modelos científicos con la estructura real del mundo. Para los anti-realistas, la representación no guarda ninguna correspondencia alguna con la realidad, es decir, es

ajena a la representación. La ciencia se hace esquemas de la realidad, construye modelos, pero estas imágenes no tienen porque corresponderse con nada real. Esto abre paso a la tarea de aportar los fundamentos del conocimiento en general, develando la perspectiva propia del conocimiento y reconociendo la legalidad de la cuestión planteada.

### *¿A qué categorías pertenecen las representaciones?*

Hablar de categorías de las representaciones es referirse a la manera como se reconocen, organizan, diferencian y clasifican. Chakravartty (2010) propone que las representaciones científicas comprenden entidades abstractas como los modelos teóricos, objetos concretos como diagramas, gráficos e ilustraciones y procesos como las simulaciones por computador. Esto ilustra la gama y variedad de dispositivos de representación en la ciencia.

Las diferentes formas de representación disponibles para la ciencia se adecúan en mayor o menor medida a las diferentes disciplinas según su objeto de estudio, fines cognitivos, métodos de investigación y tipos de problemas. Mientras unas disciplinas recurren más a la representación gráfica, algunas lo hacen a esquemas y diagramas, y otras a representaciones geométricas y matemáticas. En general, la representación es un recurso universal en la ciencia. Van Fraassen (2008) considera que:

Lo que se representa, y cómo se representa, no está determinado por colores, líneas, o la forma de los objetos que representan. Sea o no que A representa a B, y si representa o no el elemento representado como C, depende en gran medida, y solo a veces, en la forma en que es utilizado. "Utilizar" abarca numerosos factores contextuales: la intención del creador, las convenciones de codificación existentes en la comunidad, el camino que una audiencia o espectador escoge, las formas en que el objeto es visualizado, etc. Para comprender la representación, se debe mirar la práctica de la representación. La forma de representación es una cuestión de uso, y esto implica la atención en primer lugar al uso que dan los usuarios.

La noción de uso está más centrada en la pragmática. No se aprende primero a fundamentar para luego actuar. De hecho, primero se actúa y luego se fundamenta, esto

significa una relación intencional entre sujetos y objetos. Brandom (2008) establece que algunos tipos de representación se pueden especificar independientemente de lo que representan, pero las prácticas y habilidades no se pueden separar de los objetos. Estas últimas dos permiten usar las palabras para decir y construir significado de los elementos del mundo.

### ***¿Qué propiedades tienen las representaciones científicas?***

Hablar de las propiedades de la representación científica implica aproximarse a dos enfoques. Por un lado, algunos se basan en la información sobre algún aspecto del mundo que contiene la representación. Por el otro, se hace énfasis en las funciones de las representaciones: sus usos en las actividades cognitivas llevada a cabo por agentes humanos en relación con sus objetivos.

La idea de una *representación científica* es algo que tiene una relación objetiva con lo que representa, dando información sobre ese aspecto del mundo. Por *objetivo* se entiende que esas relaciones se pueden obtener por medio de convenios de representación, en realidad son independientes de la mente. Para Giere (1988), ofrecer una imagen plausible de la objetividad científica solo es posible a través de las semejanzas entre los modelos y los sistemas reales que se supone representan. La contrastación experimental de los modelos científicos tiene una función relevante en la construcción de la objetividad, pues ofrece un apoyo claro de la semejanza de los modelos con respecto a los sistemas reales en los aspectos a analizar.

Mientras que la *información* es un concepto técnico relacionado con la ciencia cognitiva, y las ciencias computacionales, la manera en que se asume aquí es solo en su sentido cotidiano o coloquial, es decir, lo que se aprende cuando adquirimos conocimiento de algo. La versión más general de los recursos de información abarca las relaciones de semejanza. Giere (1988) afirma que las representaciones científicas son similares a sus sistemas objetivos en algunos aspectos previstos y para ciertos grados. Sostiene que la relación entre los objetos y sus imágenes es del mismo tipo del que se da entre los sistemas reales y los modelos. La forma en que representan los modelos es similar a la forma en que representan las imágenes: una fotografía. Los modelos son isomorfos con sistemas reales o son similares en varios aspectos y grados con los sistemas reales o patrones de datos.

Preguntarse sobre cómo se conectan las representaciones a los objetos representados lleva al enfoque informativo de la representación, al considerar que el conocimiento es posible por la relación de semejanza que la imagen representante tiene con el objeto. Se podría decir que una representación científica es similar en cierto modo y en cierta medida, al objeto que representa: A y B son semejantes si y solo si tienen algún subconjunto de sus propiedades en común. Representaciones concretas como el modelo de Watson y Crick de la molécula de ADN, y abstractas, como el modelo del péndulo simple, claramente tienen ciertas propiedades en común con sus objetivos — características estructurales—, por ejemplo.

La relación de similitud genérica admite varias condiciones defendidas por otros partidarios de la opinión de información, incluidas las relaciones de isomorfismo, el isomorfismo parcial y el homomorfismo. Pero todos comparten un énfasis en las relaciones objetivas que llevan información. Por su parte, el homomorfismo es una relación que preserva la estructura entre dos estructuras algebraicas en la que los elementos, propiedades y relaciones entre ellos se conservan<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Peirce (1931) desarrolló el concepto de representaciones homomorfas de signos. Afirma que todo pensamiento son signos y todo conocimiento es una actividad de representación. Por lo tanto, cualquier esfuerzo hacia una clasificación de los signos describe los principios organizativos de nuestra actividad cognitiva. Peirce hace una división de los signos en una tricotomía que comprende los símbolos, los índices e iconos. Los símbolos son signos que indican la consecución de un hábito o una convención y no tienen conexión lógica con los objetos que representan.

El lenguaje verbal es un ejemplo de sistema simbólico basado en signos convencionales. Las palabras en la expresión oral no presentan ninguna semejanza con los objetos que representan y son asociados a determinados significados generales por medio de un conjunto de normas establecidas por los hablantes de una lengua. Los índices son signos que representan un objeto de manera ostensible o exhiben una relación de causalidad con lo que representan. Peirce sostenía que es de alguna manera "La fuerza" para reconocer su relación causal con el fenómeno que representan. Rayo antes que el trueno, el humo indicador de incendios. Por último, Peirce define iconos como signos "toman parte en el carácter del objeto ", es decir, signos que preservan la estructura relacional que rigen los objetos.

En varios casos, Peirce parece insistir que la relación representante en la base de signos icónicos se caracteriza por una similitud o semejanza con los objetos que representan. Las definiciones a continuación ilustran este punto: "Un icono... presenta una similitud o analogía con el tema del discurso". "El icono es un signo, que significa algo porque se parece a" barómetro y la posibilidad de lluvia son ejemplos de índices. En estos casos, la relación de significación no se basa exclusivamente en una convención. El concepto de homomorfismo arroja nueva luz sobre la noción ambigua disimilitud o semejanza que Peirce considera en la base de las representaciones icónicas. Una fuente de representación es un icono de su objetivo si preserva las propiedades pertinentes y relaciones existentes entre los elementos de la gama de fenómenos que representa.

Un homomorfismo desde un objeto matemático a otro, es una función que es compatible con toda la estructura relevante, pues garantiza que son de la misma categoría. Bajo esta condición un conjunto  $A$  —dominio de origen— se puede incorporar a un conjunto más pequeño  $B$  —dominio de destino—, siempre y cuando su estructura se conserve. Esto requiere una correspondencia entre las propiedades — simetría/asimetría; reflexividad/irreflexiva etc. — y operaciones —las relaciones entre elementos— de ambos conjuntos. En álgebra, los homomorfismos no se aplican entre conjuntos que tienen las mismas operaciones. Por otro lado, la relación estructural entre los conjuntos  $A$  y  $B$  no se extiende necesariamente a todos los elementos del dominio de destino: una parte de los elementos en el dominio de destino puede ser no incluidos en la relación. En términos matemáticos, un dominio de destino así obtenido se dice que es una imagen homomórfica del dominio de origen.

Es posible resumir las condiciones para una relación homomorfa entre una fuente de representación y un dominio de destino de la siguiente manera:

1. Los elementos de una fuente de dominio  $A$  representan los elementos de un dominio de destino  $B$ , con diferentes elementos de  $B$  representados por diferentes elementos de  $A$ ;
2.  $f$  es una relación o función entre  $A$  y  $B$  que tal:
  - a) Si los elementos de  $A$  se encuentran en una relación relevante  $R$ , entonces hay una relación relevante  $R'$  entre los elementos de  $B$ , los cuales están asignados por  $f$ ;
  - b) Si un elemento de  $A$  tiene una propiedad  $P$ , entonces hay un elemento de  $B$  con la correspondiente propiedad  $P'$ .
  - c) Si una relación  $R$  en  $A$  tiene la misma propiedad estructural — simétrica/asimétrica, reflexiva/irreflexiva, transitiva, etc. — entonces puede tener la misma propiedad para  $R'$ .

Bueno (1997) y French y Ladyman (1999) proponen la concepción de representación de isomorfismo parcial donde:  $A$  representa  $B$  si y solo si la estructura  $A$  es ejemplificada por una parte isomorfa a la ejemplificada por la estructura  $B$ .

Según las teorías funcionales, una representación científica facilita prácticas como la interpretación y la inferencia con respecto a su sistema de destino. La idea de que una representación científica permita funciones se puede abordar desde varias categorías defendidas por diferentes autores. Algunos hacen referencia a las manifestaciones y a la interpretación de los sistemas de destino que las representaciones permiten y otros a las inferencias que se hacen sobre aspectos del mundo. Elgin (2004), inspirado por Goodman (1976), hace hincapié en la noción de “ejemplificación”: “los dispositivos que posibilitan acciones como resaltar, exhibir, mostrar, o poner de manifiesto algunas de sus características, mientras que otras características son de diversas maneras menospreciadas o ignoradas”. La ejemplificación depende fundamentalmente de las actividades cognitivas de los agentes humanos, en donde las representaciones son mentalmente transformadas de tal manera que hacen que algunas de sus características epistémicamente accesibles puedan establecer supuestos concretos. Se requiere formación, conocimiento o experiencia por parte del sujeto pensante.

Según las teorías funcionales, una representación científica es algo que facilita las prácticas tales como la interpretación y la inferencia con respecto a su sistema de destino. En general, todas las versiones del enfoque funcionalista destaca la centralidad de los agentes humanos en la representación del conocimiento científico, en aparente contraste con la independencia de la mente propuesta por el enfoque de la información.

### *¿Qué relación se establece entre los modelos y las representaciones científicas?*

Dentro de este debate los filósofos de la ciencia se han dado cuenta que la noción de modelo proporciona un amplio campo de investigación, en particular en el análisis de las representaciones científicas, donde preguntas acerca de lo qué sea un modelo, para qué se utiliza, cuáles son sus límites y su alcances son imprescindibles tanto para la epistemología como la pragmática.

El empleo por parte de las diferentes ciencias de diversos tipos de modelos para representar fenómenos de muy distinta naturaleza se constituye en una práctica implementada por la comunidad científica para dar cuenta de un sinnúmero de eventos, regularidades y construcciones que les permite comprender el mundo con la ayuda de estos.

Los científicos han reconocido la importancia de la modelización en la ciencia contemporánea, de tal manera que los modelos pueden ser asumidos como mapas, mundos, experimentos, objetos, construcciones sociales, donde la mayoría de estas interpretaciones busca la captura de un aspecto importante de ellos sin estar necesariamente en mutua contradicción. Los modelos no pertenecen a una clase natural. La elección de aspectos como piedras angulares de un enfoque de los modelos científicos es, en cierta medida, subjetiva y solo se justifica en términos de su contribución a la aclaración de aspectos relevantes.

Los modelos son de central importancia en muchos contextos científicos. Modelos como el de bola de billar de un gas, el atómico de Böhr, el de bolsa del nucleón de MIT, el de Gauss de la cadena de un polímero, el de Lorenz de la atmósfera, el de Lotka-Volterra de la interacción predador-presa, el de la doble hélice de ADN, o los de equilibrio de mercados, son ejemplos en diferentes disciplinas. Los científicos invierten gran cantidad de tiempo en su construcción, en la realización de pruebas, en la comparación y revisión, de tal manera que gran parte de sus acciones están dedicadas a la introducción, aplicación e interpretación de estas valiosas herramientas. En resumen, los modelos son uno de los principales instrumentos de la ciencia moderna.

El modelado en las ciencias biológicas ha surgido en las últimas décadas y ha posibilitado la construcción de modelos tridimensionales del ADN en genética molecular, simulaciones por ordenador de la ecología de poblaciones, modelos estadísticos en paleontología, modelos de difusión de la genética de poblaciones, y modelos remanentes en taxonomía, entre otros.

Para Odenbaugh (2005), los biólogos utilizan el término *modelo* de dos maneras distintas. La primera como una representación idealizada de sistemas empíricos. Por ejemplo, un biólogo evolutivo puede modelar la selección natural independiente de otras concepciones evolutivas como la deriva genética. Un segundo uso se refiere a organismos u objetos físicos que son útiles para el estudio debido a su simplicidad, por ejemplo, el modelo del organismo de la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) o el ADN estructura física en doble hélice.

La integración de la teoría de la evolución de las especies por selección natural de Darwin, la teoría genética de Mendel como base de la herencia biológica, la mutación

genética aleatoria como fuente de variación y la genética de poblaciones matemática, abrieron el camino a la síntesis evolutiva moderna. Los trabajos de científicos como Morgan, Fisher y Haldane entre otros, posibilitaron el vínculo entre la unidad de la evolución —los genes— con el mecanismo de la evolución —la selección—, logrando unificar varias ramas de la biología como la genética, la citología, la sistemática, la botánica y la paleontología.

En el modelado de sistemas biológicos se usan analogías de la física. Por ejemplo, en el modelo depredador-presa con frecuencia se acude al uso de analogías de la mecánica estadística que implican leyes de acción de masas —depredador y presa— interactuando de forma proporcional a la abundancia como las moléculas de un gas ideal. Del mismo modo, la difusión de un colorante debido al movimiento browniano es análoga a un conjunto de poblaciones donde un gen  $p$ , debido a la frecuencia de "difusión", alcanza un valor alejado del valor inicial debido a la deriva genética aleatoria como lo muestran los estudios de Roughgarden (1996). Los biólogos evolutivos, como Smith (1983), han tomado prestado de la microeconomía la teoría de juegos donde se hace una analogía entre el concepto de utilidad y el de aptitud física en los procesos evolutivos.

En el campo de conocimiento biológico se hace uso de los modelos estadísticos, cuando se quiere estudiar la resistencia de las bacterias a los medicamentos. En el caso de varios antibióticos, incluidas las quinolonas y algunas clases de rifamicina, las bacterias adquieren rápidamente resistencia a través de las mutaciones de los genes en los cromosomas. Hallazgos indican que la inhibición de la mutación puede servir como estrategia terapéutica para combatir la evolución de la resistencia a los antibióticos.

La idea de definir un modelo como un espacio de los estados<sup>1</sup> ha tomado resonancia en los biólogos teóricos. Muchos de los modelos clásicos de la biología teórica se interpretan de esta manera. Por ejemplo, los modelos de Lotka-Volterra de competencias interespecíficas son explicados como espacios de estados o como retratos de fase. De esta manera, el modelo de dos especies es descrito por ecuaciones diferenciales acopladas depredador-presa.

Según Morrison (2002), el modelado se ha convertido en una de las principales herramientas de la investigación económica en el siglo XX. Los economistas formulan modelos matemáticos adecuados a su razonamiento para dar cuenta de la representación

del mundo económico. En algunos casos, cuando no se hace uso de las analogías, se busca al igual que los astrónomos, imaginar como las partes ocultas de su mundo se organizan y a partir de estos crean modelos para representar como funciona. La caja de Edgeworth ofrece un buen ejemplo para indagar por el papel de la imaginación y las imágenes en el proceso de realizar representaciones en economía. Ésta busca dar cuenta del comportamiento económico entre dos personas y sus bienes de cambio cuando las dos partes son libres para contratar solo por consentimiento mutuo y sin la competencia de otros comerciantes. La caja se construye utilizando las curvas de indiferencia de los dos individuos con respecto a dos bienes: las del individuo B se dibujan partiendo del punto de referencia normal en los diagramas — "sudoeste"—, mientras que las del individuo A se originan en el extremo opuesto — "nordeste"—; las cantidades del bien 1 y 2 se sitúan en las ordenadas y las abscisas, respectivamente. Las sucesivas líneas  $a_1$  y  $b_1$  son las diversas curvas de indiferencia para cada uno de los individuos considerados, donde, según la dirección del movimiento que se haga, un comerciante obtendrá mayor o menor utilidad. Este modelo aportó de manera significativa a los elementos económicos como las curvas de indiferencia, las curvas de contrato, los puntos tangenciales y de equilibrio, entre otros. Cada posible distribución de los bienes entre las dos personas se puede representar como un punto dentro del gráfico. Se dice que una asignación de los recursos es viable si la cantidad total utilizada de cada bien es igual a la cantidad total disponible. Esto significa:

Cantidad total del Bien 1 = cantidad del Bien 1 de A + cantidad del Bien 1 de B

Lo mismo para el Bien 2.

En este análisis se dibujan las curvas de indiferencia para A y B, que representan las combinaciones de los bienes 1 y 2 que satisfacen el mismo nivel de utilidad. A lo largo de la curva de indiferencia, la utilidad o satisfacción se mantiene constante sin importar el valor monetario. Y a medida que nos alejamos del origen, aumenta el nivel de utilidad. Esto indica que la curva  $a_2$  tiene mayor utilidad que la curva  $a_1$ , que la curva  $a_3$  tiene mayor utilidad que la curva  $a_2$ , etc. Este análisis se mantiene para las curvas de indiferencia del individuo B.

La caja de Edgeworth ejemplifica varios conceptos claves de los mecanismos de intercambio y de las acciones que contribuyen al proceso de las asignaciones eficientes, y al mejoramiento de la equidad. La región acotada es una zona que ofrece ventajas

mutuas y tiene un nivel de comercio potencial, pero para acceder a una parte del bien más escaso se requiere renunciar a una parte del bien que se posee en mayor cantidad. Este modelo de la economía clásica lleva a la idea de que los recursos son finitos, por esto la necesidad de buscar la máxima eficiencia en su uso. Esta eficiencia vela por una mejora de la equidad y de la dotación inicial.

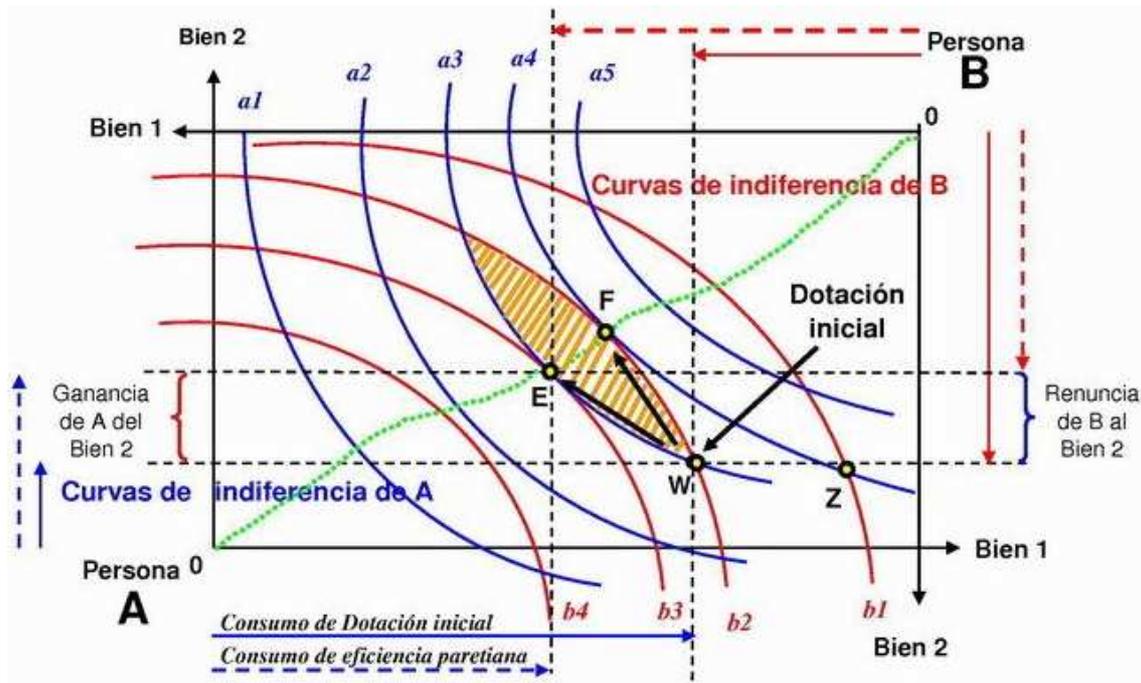


Imagen 1<sup>2</sup>. La caja de Edgeworth es una manera gráfica de representar la distribución potencial de los recursos tomando las curvas de indiferencia de dos individuos.

Para Rubinstein (2006), los modelos de la teoría económica tienen una serie de funciones. A veces se utilizan simplemente como una herramienta para encontrar una imagen clara de lo que se quiere expresar. Por ejemplo, los economistas teóricos usan los modelos formales para producir conclusiones o para tomar decisiones. También se utilizan para sugerir regularidades en los comportamientos humanos y sus interacciones<sup>32</sup>. Los modelos de teoría de juegos están destinados a describir y analizar

<sup>2</sup> Disponible en <http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia>

<sup>3</sup> Los fenómenos que aparecen con frecuencia en ambientes similares en diferentes tiempos y lugares, se dicen que son regulares.

el comportamiento humano, pues se centran en un pequeño número de factores que permiten utilizar modelos simplificados para explicar los comportamientos.

Los modelos pueden considerarse también como un conjunto limitado de supuestos que inevitablemente fallan en algunos contextos, de ahí que se hace necesario atender varias condiciones cuando se quiere utilizarlos. Es necesario dilucidar el dilema de las conclusiones absurdas cuando se hace necesario asumir entre la posibilidad de abandonar un modelo si se producen conclusiones absurdas, o considerarlo como un conjunto muy limitado de supuestos que inevitablemente fallan en algunos contextos. El dilema de responder a la evidencia aborda la condición si se debe juzgar un modelo de acuerdo a resultados experimentales o no. El dilema de las regularidades hace referencia a si los modelos sirven para probar hipótesis o son solo simples ejercicios de lógica que sirven para identificar regularidades. El dilema de la relevancia pone en evidencia la pretensión de los modelos de tener el derecho de dar consejos o declaraciones que pretenden influir en el mundo real. La solución de estos cuatro dilemas se refleja en la construcción exitosa de modelos abstractos que le dan un significado a partir de la manipulación de símbolos, que a veces dejan en el economista la atracción de la teoría por un lado y su pertinencia por otro.

Por otro lado, la dependencia de las características de un modelo, a partir del rendimiento de un agente el cual tiene la habilidad para reconocer patrones dinámicos, es en una asimetría que se expresa en expresiones como "A entiende el mercado mejor que B". Tales declaraciones reflejan el hecho de que los agentes difieren en su capacidad para comprender el comportamiento del mercado, incluso si tienen la misma información en bruto. En concreto, es importante construir modelos de mercados en los que los precios fluctúen en un patrón que sea independiente de los fundamentos y que puedan ser reconocidos solo por el más competente agente.

Los modelos también son asumidos como herramientas para generar hipótesis. De esta manera, un modelo econométrico<sup>4</sup> es uno de una serie de herramientas que se utilizan para reproducir y simular los principales mecanismos de un sistema económico regional, nacional o internacional. La econometría ha desarrollado métodos para la

---

<sup>4</sup> La econometría combina la teoría económica con la estadística para analizar y poner a prueba las relaciones entre variables económicas.

identificación y estimación de modelos de ecuaciones simultáneas. Estos métodos permiten a los investigadores hacer inferencias causales en la ausencia de experimentos controlados y son adaptables con el fin de simular una situación hipotética, que permitan evaluar cuantitativamente los efectos netos en la mayoría de las variables macro-económicas influenciadas por las acciones públicas, por ejemplo, como crecimiento, empleo, inversión, comercio, etc.

Los modelos econométricos se definen generalmente por el uso que los datos juegan a la hora de informar la estructura del modelo, es decir, para calcular los coeficientes del modelo a través de una variedad de posibles métodos de estimación. Los objetivos principales para la construcción de un modelo econométrico son la comprensión, el pronóstico y los escenarios, donde cada uno de ellos tiene una aplicación en el contexto de la evaluación.

En cuanto a la comprensión, un modelo arroja luces sobre las relaciones entre las variables, ya que en la economía o generalmente en las ciencias sociales, los hechos no hablan por sí mismos. Un modelo es una manera de comprobar si hay pruebas de una hipótesis específica, por ejemplo, la variable Y tiene una influencia significativa en la variable X. En el contexto de una evaluación, el modelo ayuda a comprender cómo los mecanismos implicados en la transmisión de los efectos de una política encajan entre sí. La realización de un pronóstico creíble es un elemento importante en el uso de modelos econométricos para la evaluación, por ejemplo, un pronóstico inestable puede ser una indicación de un modelo de estructura inestable. Un pronóstico a menudo puede implicar algunos ajustes a posteriori, para terminar como una mezcla de resultados del modelo y el punto de vista del economista. El proceso que implica la construcción de escenario, o sea una realidad alternativa, se hace generalmente a través de un conjunto diferente de supuestos, para luego comparar los resultados con una línea de base del modelo.

La naturaleza económica de los fenómenos conlleva a la consideración de que los modelos racionales de gestión y control de la información que modelan situaciones a partir de hipótesis o premisas, como los modelos de decisión y una gran parte de la Teoría de Juegos, puedan ser aceptados. De esta manera, un modelo acertado en la teoría del desarrollo económico puede tener una enorme influencia en el mundo real, pues permite una aproximación a la percepción de la realidad; sin embargo, no da la

posibilidad de predecir el futuro pues actúa como una forma de organización del pensamiento, que necesariamente influye en la cultura y orientan las acciones de los agentes.

Como en las demás ciencias, la química hace un uso extensivo de los modelos, es decir, acude a simplificaciones o representaciones idealizadas de los sistemas que se encuentran en el mundo físico. Estos son parte esencial no solo de la descripción científica del mundo "allá afuera", sino de la cognición humana de las cosas, sobre todo a las cuales no se puede acceder directamente a través de los sentidos. Los modelos son objetos que pertenecen al mundo accesible a la experiencia directa del hombre, a menudo contruidos ad hoc y posiblemente idealizados. Ellos sirven como referentes de analogías, que parecen ser indispensables en la mayoría de los aspectos de la teorización científica, especialmente para la comprensión de los niveles sub-microscópicos de la realidad.

Los químicos se encuentran una gran cantidad de reflexiones de sus objetos de estudio favoritos: los modelos moleculares. Haciendo uso de las analogías<sup>5</sup> con los objetos cotidianos y las idealizaciones<sup>6</sup> el concepto básico de la estructura molecular se define en términos del modelo muelle-bola, que utiliza la ley de Hooke para los resortes y la tercera ley de Newton para las bolas, esto permite utilizarlos como medios para la comprensión de la realidad, Este fue desarrollado a partir de una idea de Kekulé que se remonta a 1858: "una molécula tiene una estructura en el sentido de que tiene una propiedad análoga a la estructura de su modelo de muelle-bola (BS)."

Los modelos analógicos que resultan de la estructura molecular se reconcilian con la química cuántica, y asumen el comportamiento de las moléculas a partir de las propiedades geométricas y mecánicas. Es decir, un químico tiene una ampliación fiel — aproximadamente cien millones de veces— de una molécula. Esta analogía es el origen

---

<sup>5</sup> Hacer uso de la analogía en este caso implica que las propiedades geométricas y mecánicas del modelo macroscópico corresponden lo más cercano posible (aunque no completamente) a las propiedades de la molécula real correspondiente. El modelo SB de la química, es un ejemplo concreto del pensamiento por analogía en la ciencia, y por lo tanto es un buen punto de partida en un estudio general de los modelos.

<sup>6</sup> Los conceptos de gases, sólidos y líquidos ideales, las geometrías moleculares basadas en las estructuras de Lewis, las configuraciones electrónicas, los tipos de enlace, los modelos de reacciones en cinética, termodinámica y equilibrio químico, son ejemplos de idealizaciones que permiten clasificar y explicar las propiedades observables del mundo físico y profundizar en el conocimiento de la naturaleza.

y la justificación de la introducción de la forma y estructura como características moleculares.

A partir de la topología, la teoría de grafos y la química cuántica clásica, algunos químicos han asimilado el diseño molecular asistido por ordenador y la programación orientada a objetos en 3D de las estructuras moleculares, y han examinado las perspectivas futuras de investigación en química, como complemento de los experimentos mediante simulaciones por ordenador y las nuevas formas de investigación en la química computacional, que a su vez han permitido predecir fenómenos químicos no observados hasta ahora. Estos modelos son ampliamente utilizados en el diseño de nuevos fármacos y materiales.

En las ciencias físicas, los modelos son parte indispensable de la explicación científica. No es una exageración que el uso sabio de los modelos es el rasgo esencial de la ciencia de Galileo. Los modelos idealizados son tratados como si tuvieran lugar en un mundo que construye los rasgos de la realidad que la ciencia quiere estudiar. Por ejemplo, el péndulo ideal se asume como un modelo, que está constituido por un punto donde se concentra la masa del cuerpo, suspendido de un hilo sin masa, flexible, inextensible y con oscilaciones lo suficientemente pequeñas para que el seno del ángulo que forma con el eje vertical se aproxime al ángulo. Todo esto permite deducir la dependencia matemática del período respecto a la longitud del hilo y la aceleración de la gravedad. Así, éste puede ser asumido como un modelo físico, pues utiliza herramientas de pensamiento analógico descriptivo, o como un modelo matemático, al usar herramientas del pensamiento analógico argumentativo.

Los modelos geométricos propuestos por Copérnico con el fin de dar la explicación geométrica del movimiento de la Tierra y los planetas están recogidos en su libro *De Revolutionibus* (1530) en el que queda sistematizado, en términos de racionalidad geométrica, el orden con que Dios había dispuesto el universo. Esta tradición trasciende a Kepler, quién en su libro *Mysterium Cosmographicu* (1596) busca demostrar la armonía que subyace en el orden del mundo. Su intención fue descubrir las relaciones geométricas que determinaban la sucesión de los seis planetas y sus trayectorias. Kepler encontró una solución: el número de planetas y sus distancias respecto al Sol se explican por la interposición, entre cada una de ellas, de uno de los cinco poliedros regulares del modelo. Este ajuste geométrico perfecto concuerda casi exactamente con

las medidas dadas por Copérnico, lo cual ofrecía una verificación incontestable de su teoría heliocéntrica.

Galileo hace la explicación de la caída de los cuerpos a partir de la significación física de una representación geométrica. Utiliza el razonamiento geométrico y lo interpreta de manera empíricamente significativa, es decir, física. Otro aporte decisivo para la emergencia de la física moderna fue la algebrización de la geometría por Descartes (1937). Donde el carácter de los problemas geométricos, se reduce a problemas de una misma naturaleza, es decir, buscar el valor de las raíces de alguna ecuación. Estas raíces representan líneas, segmentos que pueden trazarse. Así, la geometría analítica cartesiana posibilita que la métrica inducida por la composición algebraica tenga correlación con el cálculo operatorio de las magnitudes geométricas.

*Los escritos de Dinámica* de Leibniz buscan dar un ataque a la mecánica cartesiana reduciendo las fuerzas a un cálculo geométrico: “es la fuerza—que es la causa del movimiento— la que existe verdaderamente de modo que, además de la masa, la figura y su cambio —que es el movimiento — hay otra cosa en la naturaleza corpórea, a saber: la fuerza”. Utilizando la idea euclidiana que el trayecto genera la línea, el de la línea la superficie y la de la superficie el volumen, se demuestra la tridimensionalidad del espacio. El tránsito de una superficie a otra se realiza como un proceso continuo, sin cambios. Mediante la ley de la continuidad también se vinculan espacio y tiempo y este será el modelo que se aplica en la derivación de las diferentes fuerzas. Espacio y tiempo son el marco que permite el movimiento, pero como la fuerza le subyace, es necesario construir un nuevo continuo estructural formal que permita enmarcar toda fuerza. Esto es posible, a partir del concepto de representación, pues no se busca la identidad entre representante y representado, sino que estén regidos por la misma ley. De este modo, siempre habrá una correspondencia entre ambos y podrán deducirse las propiedades del uno estudiando el otro. El criterio legitimador de la representación será, por tanto, el paralelismo de leyes estatuido por la armonía preestablecida.

Los desarrollos del primer capítulo de *Mecánica de Euler* (1736) enlazan sin discontinuidad con el formato geométrico propio del siglo XVII. El proceso seguido tras explicitar los axiomas, la enunciación y demostración de los teoremas consecuentes mediante proporcionalidades entre cantidades de velocidad, longitud y tiempo. El camino recorrido del paso pendiente dejado por Newton hasta la decisión de elegir

unidades para expresar las leyes relacionales, ya no únicamente como relaciones de proporcionalidad sino como igualdad entre medidas, permite el surgimiento de la formalización mediante ecuaciones de las leyes de la mecánica newtoniana e inicia el valor de uso de las ecuaciones físicas y la realización de cálculos prácticos por mediación de ellas.

Todos estos usos de modelos en las ciencias ponen de manifiesto lo fundamentales que son para la ciencia, pues su noción científica invita a los científicos y filósofos a su reflexión epistemológica y metodológica, porque los modelos, en cualquier sentido científico, están en la interfaz entre el mundo conceptual y los objetos de la investigación empírica, que son como los representantes de los objetos de estudio ante el tribunal de la razón humana. En esta perspectiva, una reflexión sobre los modelos en la ciencia es obligatoria para cualquier estudio sobre la relación entre la realidad sensible y los procedimientos mediante el cual la ciencia deriva conocimientos de éste. No es tarea hablar de la estructura ontológica de la realidad sensible. Sin embargo, ¿cómo se puede esperar que develen la verdad sobre lo que está "ahí fuera", es decir, lo que parece ser independiente de la voluntad y deseos del observador?

### ***PLANTEAMIENTO GENERAL***

Esta tesis doctoral presenta una propuesta del uso de los modelos científicos donde se busca armonizar, como proponen Donato y Zamora (2009), su papel como representaciones, como explicaciones, y como instrumentos para el aprendizaje y la manipulación. Para dar cuenta de esta pretensión, se buscará responder a las siguientes cuestiones:

1. ¿Cuál es la naturaleza de las representaciones? ¿Es posible una teoría general de las representaciones científicas? ¿Cuál es el papel de los modelos en las representaciones científicas?
2. ¿Cuál es la relevancia dada a los modelos como base para la investigación y la construcción del conocimiento científico? ¿Qué función tienen los modelos?

3. ¿Cuáles son los elementos esenciales de una formulación pragmática de los modelos? ¿Cómo definir una normatividad subyacente a la construcción y el uso de modelos? ¿Cuáles son las virtudes que debe tener un modelo para dar cuenta de su acción? ¿Cuáles son las herramientas en el proceso de construcción de modelos? ¿Qué relación hay entre la credibilidad de los modelos y lo que representan?
4. ¿Qué es una simulación? ¿Qué diferencias y relaciones hay entre un modelo y una simulación?

Para ello y con el fin de elucidar el papel de las representaciones científicas, en el Capítulo I se busca abordar en primer lugar, la naturaleza de las representaciones, caracterizar los aspectos que las diferencian a partir de dos tendencias de la Filosofía de la Ciencia: la tradición analítica y la tradición pragmática. Esto permitirá finalmente dar los argumentos para que en desarrollo de la tesis se privilegie la tradición pragmática. En segundo lugar, se busca, desde la tradición pragmática, determinar cuáles son los enfoques que se instauran y cómo cada uno de ellos aborda el tema de las representaciones científicas. En tercer lugar, se muestra una tendencia que se ha venido dando en los debates filosóficos con relación hacia al establecimiento de una teoría general de las representaciones que, tomando elementos de tradiciones, busca reconstruir la noción de representación de una manera que preste atención debida a la crítica de construir una teoría global, como lo plantean Ibarra-Mormann (2001), Suárez (2004) y Knuuttila (2005). Después, considerando que la construcción y uso de los modelos tiene sus cimientos en la práctica de los científicos, se hace necesario entrar en las propias concepciones filosóficas acerca de los modelos como representación. Retomando a Knuuttila (2005), el valor epistémico de los modelos toma relevancia partir de su valor productivo en el quehacer y la experimentación. La práctica, uso y producción les permite acercarse a lo que se podría llamar representación. Finalmente, la percepción de los modelos, como mediadores entre las teorías, fenómenos y datos, permiten ubicarlos en la concepción práctica considerándolos como los mediadores independientes entre la teoría y los datos Su papel como artefacto epistemológico posibilita acceder al conocimiento de muchas maneras, más que ser los representantes directos; la consideración como objetos y herramientas de investigación permite, a través de los medios comunicacionales, la búsqueda del carácter inferencial del modelo, y esto lleva a buscar un ejemplo desde la física cuántica que dé razón de estos aspectos.

En el capítulo II, se hace una descripción de las diferentes alternativas y posturas sobre los modelos, sus funciones y usos más frecuentes, enraizados en la combinación del trabajo conceptual y material que los científicos hacen. Todo esto con el fin de encontrar una relación que puede ser de tipo representacional, idealizada o de razonamiento sustitutivo que posibilite tomar postura acerca de las condiciones más adecuadas para abordar esta investigación. En la primera parte, se reivindican las visiones que subyacen a las principales concepciones de los modelos, pero se evita las dificultades que caracterizan a otras posibles versiones de estos puntos de vista. Desde cada una de las concepciones se muestra la diversidad de modelos en la ciencia y cómo estos no pueden ser abordados de manera única, sino por lo que dan cuenta. Hay una variedad de cosas que son comúnmente llamadas modelos: objetos físicos, objetos ficticios, estructuras de una serie teórica, descripciones, ecuaciones, o combinaciones de algunas de estas, entre otros. Sin embargo, estas categorías no son ni mutuamente excluyentes ni exhaustivas, puesto que algunos modelos pueden caer dentro de otra clase de categorías debido a la dependencia de las convicciones metafísicas de los investigadores. Un ejemplo de esto es que para algunos no existe una demarcación entre los objetos ficticios y las estructuras construidas teóricamente.

¿Qué es un modelo? Es una pregunta interesante por derecho propio y tiene implicaciones para la semántica, para la epistemología y la pragmática. En este capítulo, se reafirma el papel central de los modelos en la pragmática y se muestra las principales funciones que tienen como representar, idealizar y razonar surrogativamente.

Si los modelos científicos se refieren a la representación de aspectos del mundo o partes de él, como la mayoría de los filósofos de la ciencia hoy en día parecen creer, es importante buscar la comprensión de cómo los modelos representan aspectos o partes del mundo, que dan una visión de cómo funciona la ciencia. Otra función es usar el aislamiento —en el que un conjunto de elementos es teóricamente retirado de la influencia de otros en una condición dada—, aunque esta es última es hipotética en la medida que no existe un sistema real aislado del mundo. En analogía a los experimentos de laboratorio, los modelos permiten teóricamente la eliminación de la influencia de algunos factores sobre los demás en una situación dada. Una de las principales razones para idealizar es simplificar el modelo con el fin de hacerlo manipulable. De esta forma es útil cuando hay un número de variables que ejercen influencia en un fenómeno

particular y su medición es demasiado grande para considerarlas a todas, y así poder ofrecer soluciones analíticas para un problema particular.

La función de los modelos como razonamiento surrogativo es ayudar a sacar conclusiones del sistema que representan, a partir de la consideración de un modelo como un sistema abstracto imaginado, cuyas propiedades son examinadas mediante la realización de inferencias entre las descripciones de los modelos. Los modelos no dicen nada sobre el mundo real, sino que se limitan a proporcionar componentes abstractos que pueden resultar útiles en el desarrollo de teorías genuinamente explicativas. En analogía con la ficción literaria, tales modelos no son probables, pero pueden ser calificados de creíbles o verosímiles permitiendo establecer la importancia epistémica de los modelos.

En el capítulo III se busca determinar el uso específico, el tipo de características y propiedades que debe tener un modelo para lograr una aplicación en un contexto más amplio, de tal manera que permita sacar conclusiones del sistema que representan, así como condiciones que hacen que estos sean buenos candidatos para aprender sobre el mundo.

La posibilidad de lograr una teoría que dé cuenta del uso y la evaluación de estos artefactos cognitivos ha sido formulada por Donato y Zamora (2009), quienes retoman los elementos de la pragmática normativa de Brandom (2002) y proponen que “el proceso por el cual una afirmación científica es aceptada por la comunidad de investigación pertinente, se utiliza para iluminar el proceso de construcción de modelos y pruebas”.

La primera parte busca describir los elementos esenciales del modelo inferencialista de Brandom, que se consideran importantes para la evaluación de modelos. La atribución dada a los miembros de una comunidad de una serie de compromisos normativos cumple un papel funcional en el marco de una estructura pragmática. Por ejemplo, se le atribuye a un grupo de personas la condición de no tocar la pelota con el pie en función de una serie de compromisos normativos atribuidos, los cuales cumplen un papel específico en una estructura más amplia caracterizada por compromisos normativos a la que se llama “fútbol de salón”. Todas las acciones humanas se asumen estructuradas y motivadas por los estados deónticos de los agentes, en términos de lo que están comprometidos o tienen derecho a hacer.

La segunda parte trata sobre el problema de la normatividad subyacente a la construcción y el uso de modelos, a partir de una teoría de lo intencional que involucra una noción de aceptabilidad aplicable a aquellos actos mentales necesarios para adoptar ciertos estados intencionales —por ejemplo ciertas inferencias— y a realizar ciertas acciones. La explicación de la noción de aceptabilidad involucrada en una teoría de este tipo ha de llevarse a cabo en conexión con algunas de estas prácticas, justamente aquellas que están en la base de todas las demás, en términos de la noción de normas implícitas en prácticas sociales.

La capacidad de construir modelos permite entrar en relaciones inferenciales, de tal manera que la sistematización de las inferencias que son aceptadas en relación a su uso permite su aprobación. De esta manera, un "buen" modelo científico posibilita la sistematización de las creencias conducentes a mejores resultados de las percepciones integradas a la experiencia intersubjetiva más cotidiana. Para Donato y Zamora (2009), los modelos son tipos de artefactos o “prótesis inferenciales”<sup>1</sup> construidos con la intención de sistematizar las experiencias de la realidad para facilitar la intervención de la misma por parte de los agentes.

En la tercera parte se busca un acercamiento a las pretensiones sobre el uso y la evaluación de estas herramientas cognitivas con la definición de una serie de virtudes que permiten dar cuenta de su acción. Esto se justifica a partir de la aceptación y éxito de los modelos en relación a la intencionalidad de los agentes, sus condiciones particulares de producción representacional y factores sociales y culturales, lo cual exige la formulación de criterios para juzgar la bondad de estos. No hay una manera determinada para combinar las virtudes que los modelos deben tener, ya que cada científico o comunidad científica tiene sus propias preferencias — que se constituyen en su sello de identificación—, las cuales se concretan en las normas inferenciales que cada grupo tiene y permiten la construcción de patrones de inferencias que se consideran adecuados.

Después, apoyado en el papel de las idealizaciones y concretizaciones desde una perspectiva inferencial, se busca dar cuenta del proceso de construcción de modelos. La idealización toma lugar en la construcción de modelos, pues permite hacer inferencias e intervenciones en determinados aspectos relevantes del mundo y, al ser asumida como una condición de inferencia contrafáctica, permiten una manipulación de las medidas y

los cálculos, así como el planteamiento de hipótesis casuales relacionadas con el aislamiento de los sistemas.

Las idealizaciones pueden diferir en muchos aspectos del mundo, por lo que se retoma el concepto de “grado de contingencia” para dar cuenta que los modelos reflejan un ideal de representación diferente. De esta manera, los modelos están formados por las idealizaciones que se manifiestan bajo condiciones jerarquizadas.

Las concretizaciones son pensadas para obtener una mayor cobertura — amplitud— y exactitud en la descripción de los sistemas reales. Éstas permiten hacer inferencias más exactas y precisas, que si llegan a ser exitosas, le darán al modelo un grado particular de información.

Este esbozo de la idealización-concretización permite caracterizar un modelo como una categorización de deformaciones contrafactuales definidas en el marco de una red de idealización.

Finalmente se expone la “función de los modelos idealizados” para dilucidar la relación entre la credibilidad de los modelos y lo que representan, acudiendo a la deformación contrafáctica para definir una categoría de “iluminación” que dé cuenta de la aceptación de los modelos a partir de la comprensión de habilidades inferenciales cuando se añade un nuevo reclamo a un conjunto de compromisos por parte de los agentes. Esto permitirá distinguir entre "buenos" y "malos" modelos.

La construcción de modelos aumenta la comprensión de fenómenos que se proponen representar. Pero, a medida que los científicos comienzan a estudiar los fenómenos en toda su complejidad, estos pueden resultar simples para algunas investigaciones. Es en este campo que las simulaciones por ordenador ganan terreno, de ahí la importancia de abordar esta temática en el capítulo IV.

Las simulaciones también están comenzando a apoyar de manera directa el diseño experimental, ya sea para investigar aquellos fenómenos sobre los cuales no se tiene la capacidad técnica para realizarlos, así como el diseño de experimentos posibles, viabilizando aquellos proyectos donde resulta costoso ponerlos a prueba. El uso cada vez mayor de las simulaciones por ordenador plantea una serie de cuestiones metodológicas por parte de los filósofos de la ciencia que se derivan de sus diferencias con los modelos y las dinámicas experimentales. Se argumenta que éstas tienen

establecidas normas de rigor y las simulaciones por ordenador no corresponden a estos estándares.

La idea central de este capítulo a la par de dilucidar estas discusiones es argumentar que las simulaciones al igual que los modelos cumplen un papel fundamental de mediación entre la tradición teórica y los métodos empíricos de experimentación y la observación.

Se pretende, a través de un análisis filosófico, indagar como las representaciones científicas contribuyen a dar una visión a las diferentes maneras de acercarse a los modelos en la ciencia y los diferentes roles en la práctica científica. Los propósitos fundamentales de esta tesis doctoral son debatir los principios bajo los cuales el éxito en los modelos científicos está dado por los resultados empíricos en determinados contextos para centrarse en una definición inferencial de los modelos científicos desde una teoría pragmática sobre el uso y evaluación de estas herramientas cognitivas, e iluminar el proceso de construcción de modelos bajo la perspectiva de la "semántica inferencial fundada en una pragmática normativa" de Brandom (1994).

# CAPÍTULO I

## APROXIMACIÓN AL DEBATE DE LAS REPRESENTACIONES CIENTÍFICAS

### INTRODUCCIÓN

Las representaciones científicas han personificado un tema de debate en los últimos años desde ámbitos como la sociología de la ciencia, la economía de la ciencia, hasta las temáticas centrales de la filosofía. La representación es un concepto que se ha venido discutiendo en la filosofía de la ciencia y al interior de su quehacer. Es un concepto que no está bien establecido, constituyéndose en una problemática a ser abordada en esta tesis doctoral.

En la sección 1.1 “las representaciones científicas bajo la lupa” se plantea que tradicionalmente en la filosofía de la ciencia se pueden identificar dos tendencias que abordan el tema de las representaciones científicas: la tradición analítica y la tradición pragmática. A la luz de estas dos formas de investigación se busca indagar sobre la naturaleza de las representaciones, caracterizar los aspectos que las diferencian y finalmente dar los argumentos para que en desarrollo de la tesis se privilegie una de ellas.

En la sección 1.2 “Hacia una elucidación de la práctica científica de las representaciones: la tradición pragmática” se busca establecer cuáles son los enfoques que se instauran y cómo cada uno de ellos aborda el tema de las representaciones científicas.

En la sección 1.3 “Hacia una teoría general de las representaciones científicas” se muestra una tendencia hacia el establecimiento de una teoría general de las representaciones que, tomando elementos de las tradiciones, busca reconstruir la noción de representación de una manera que preste atención debida a la crítica que surge entre los filósofos de la ciencia de definir una teoría unificada de la representación, como lo plantea Ibarra-Mormann (2001), Suárez (2004) y Knuuttila (2005), entre otros.

En la sección 1.4 “Concepciones filosóficas acerca de los modelos como representación”, al considerar que el hecho significativo de la representación científica tiene sus cimientos en la práctica de los científicos, se hace necesario entrar en las propias concepciones filosóficas acerca de los modelos como representación. Retomando a Knuuttila (2005), el valor epistémico de los modelos toma relevancia partir de su valor productivo en el quehacer y la experimentación. La práctica, uso y producción les permite acercarse a lo que se podría llamar representación.

En la sección 1.5 “Formulación y rivalidad de los modelos”, la percepción de los modelos como mediadores entre las teorías, fenómenos y datos, permite ubicarlos en la concepción práctica de modelos. Al considerarlos como los mediadores independientes entre la teoría y los datos, su papel como artefacto epistemológico le permite acceder al conocimiento de muchas maneras, más que ser los representantes directos; la consideración como objetos y herramientas de investigación permite, a través de los medios comunicacionales, la búsqueda del carácter inferencial del modelo, y esto lleva a buscar un ejemplo desde la física cuántica que dé razón de estos aspectos.

## **1.1 Las representaciones científicas bajo la lupa**

A lo largo de la historia, el tema del conocimiento ha sido trabajado por filósofos, pero Este tema comenzó a ser estudiado de manera científica sobre todo desde los años setenta con el desarrollo de las teorías cognitivas. Una tesis central de estas teorías es que toda cognición es manipulación de representaciones, pues la primera tarea del ser humano consiste representar, lo que le permite construir la realidad. Una de las tareas que se propone en esta tesis es hacer un acercamiento desde la teoría científica del conocimiento a dos posiciones distintas que han abordado este tema según Suárez (2010). La definición de las relaciones entre el mundo y la teoría ha sido el interés predominante de la tradición analítica de la Filosofía de la Ciencia. Mientras que la tradición pragmática se ha centrado en la construcción de modelos como una actividad de representación, es decir, los medios mediante los cuales se lleva a cabo esta. Estas dos formas de investigación sobre la naturaleza de las representaciones establecen presupuestos y puntos de vista diferentes.

La tradición analítica considera que en la tarea representacional se establece una relación básica entre el mundo, un sistema o un objeto denominado X —fuente— y

objeto denominado Y — diana —, de tal manera que la afirmación “X representa a Y” es verdadera si la relación denominada R, establecida entre ellos, posibilita hacer una equivalencia con la expresión “R se da entre X y Y”. La relación R que constituye la representación puede ser de tipo diádico, es decir, se da por supuesto que el mundo es predefinido, que hay rasgos definidos antes de cualquier actividad cognitiva y, para establecer una relación entre ellos, se plantea la existencia de representaciones mentales dentro del sistema cognitivo —imágenes, símbolos—. Éste último permitirá establecer una teoría, en la cual el mundo es predeterminado, la mente posibilita el conocimiento de éste y permite representar los rasgos característicos para luego actuar sobre ellos.

La relación puede ser de tipo triádica, es decir, “X representa Y para Z”, donde es importante tener en cuenta la actividad intencional de los usuarios de la representación, negando que la relación de representación solo pueda tener en cuenta las propiedades respectivas del vehículo representativo y su objeto designado. Los planteamientos de Peirce (1931) establecen que existe una relación triádica interdependiente de tres elementos: representamen signo—, objeto e interpretante —comprensión del signo—. Para que algo funcione como signo o representamen tiene necesariamente que hacer referencia a un objeto y determinar un interpretante. Hay dos relaciones que son indispensables: denotar y originar, es decir, referirse a un objeto, y la que sirve como punto de partida a un interpretante o significado. Sin embargo, también es posible encontrar relaciones en las que no se tiene en cuenta algún elemento de esta relación dando lugar a relaciones diádicas.

Los tres elementos: signo, objeto e interpretante corresponden con las categorías de primeridad, segundidad y terceridad respectivamente, estableciendo que la categoría adecuada para la representación, la significación, el pensamiento o la convención es la terceridad, que se establece como una categoría mediadora entre el primero y el segundo. La mediación, es decir el interpretante, es fundamental para dotar de sentido, de pensamiento a los objetos, sin la cual se concebirían como una realidad en bruto, sin mediación de la razón, del pensamiento.

Los estudios de metodología y epistemología que ponen el acento principal en los aspectos pragmáticos de la representación científica, que se denominará tradición pragmática en filosofía de la ciencia, tiene la tarea principal de comprender los medios mediante los cuales los científicos buscan representar. Esta tradición más que buscar la

naturaleza, se ha centrado en la construcción de modelos como la forma principal de la actividad de representación. De esta manera, la diversidad de modelos y de técnicas de modelado empleadas en las ciencias, se constituyen en un campo de investigación fructífero en los últimos años.

Según Zamora (2006a), dentro de la tradición pragmática, aunque es difícil enmarcar todos los autores, existen básicamente dos enfoques: el descriptivo y el normativo. Ambos se ocupan de las pautas de desarrollo de la investigación científica, pero el primero busca en lo posible ofrecer algún tipo de explicación de dichas pautas, para elaborar alguna descripción. El segundo enfoque busca ponerlas de manifiesto como patrones normativos que los procesos investigativos deberían obedecer para alcanzar los fines de la ciencia.

En esta tradición se pueden ubicar los autores que han estudiado las decisiones de los hombres de ciencia para establecer cuáles modelos deben ser aceptados con los datos y argumentos disponibles combinando elementos descriptivos, causales y también normativos.

De esta manera, es legítimo aceptar que la tarea de la filosofía y la sociología de la ciencia es comprender las pautas de desarrollo, sus propósitos y significados y cómo influyen en la construcción y uso de los modelos. Desde esta perspectiva, se asume que los modelos científicos dan luces acerca de cómo los científicos aprenden del mundo con su ayuda y cómo podemos aprender con ellos. Esta condición está relacionada con la discusión acerca de la naturaleza de las representaciones, dado que los modelos intentan representar algunos aspectos del mundo.

El propósito de esta tesis es armonizar tres aspectos del uso y la construcción de modelos científicos, su papel como representación, como explicación y cómo instrumento para la comprensión y la manipulación.

## **1.2 Hacia una elucidación de la práctica científica de las representaciones: la tradición pragmática**

Las propuestas planteadas desde la tradición pragmática, que se referencian en ámbitos como la filosofía y de la sociología de la ciencia, buscan “comprender las decisiones de los científicos” frente a los medios mediante los cuales se representa. En esta tradición

se puede encontrar por lo menos tres diferentes posiciones respecto al problema de la representación<sup>7</sup>. Algunos desean renunciar a ésta y simplemente evaden el problema, definiéndolo como improductivo y estéril, como Rorty (1980) y Hacking (1992). Otros intentan deconstruir la noción como Hughes (1987) y Woolgar (1991). Al hablar sobre la representación, se está haciendo referencia a las maneras de dar, denotar e indicar, entre otras. Esto no conlleva al encuentro de un centro común que pueda llamarse ‘las representaciones’. Por último, distintos autores buscan reconstruir la noción de representación de una manera que preste atención debida a la crítica de la exploración de teorías unificadoras para las representaciones, como Ibarra-Mormann (2001), Suárez (2004) y Knuuttila (2005).

La idea de que los sistemas cognitivos tienen capacidad para elaborar representaciones y que en eso se centra su función ha sido duramente criticada desde la filosofía —por ejemplo, Rorty (1980)—. La sociología de la ciencia y algunos campos de las ciencias cognitivas. En la década de los noventa, en esta última disciplina, algunos autores se posicionaron en contra, ya que rechazaron el postulado sobre las representaciones mentales como condición necesaria para explicar el funcionamiento de los sistemas cognitivos.

El ámbito actual de la filosofía de la ciencia muestra una gran variedad teórica acerca de la concepción de modelos, teniendo en cuenta un carácter formal y práctico que a veces resulta contradictorio cuando se quiere hacer una aproximación a los modelos como representaciones. Sin embargo, este capítulo de la tesis tiene como propósito buscar una aproximación al debate, sin detenerse en las concepciones acerca del conocimiento científico, solo la categoría de cómo se conciben las representaciones.

En la década de los años ochenta Hacking publica su libro *Representar e intervenir*, en el que propone un cambio en el enfoque de la filosofía de la ciencia. Él señala que hay que pasar de la verdad y de la representación a la experimentación y manipulación<sup>8</sup>:

---

<sup>7</sup> Esta clasificación se debe a Knuuttila (2005), para quien la pregunta por la representación ha sido un asunto de preocupación epistemológica constante, pero plantea que no hay acuerdos claros sobre su significado, por eso se han hecho varios frentes para estudiarla, no solo en la filosofía sino en otros campos de estudio.

<sup>8</sup> El criterio de manipulabilidad es fundamental, pues la experimentación con una entidad no asegura su existencia. No es lo mismo experimentar sobre la entidad que experimentar con la entidad.

“siempre hay pugna entre el realismo y el antirrealismo tratando de probar, que hay algo en la naturaleza de la representación que vencerá el otro, quedando por lo tanto inconclusa esta discusión” (Hacking 1992:173)<sup>9</sup>. La experimentación debe recobrar su sitio central en el campo de la ciencia y de la filosofía de la ciencia, pues ante todo ésta ha sido una filosofía de las teorías. El concepto de observación también está cargado de teoría y esto ha hecho que este término se considere esencial en la práctica científica.

La observación, en el sentido filosófico de producir y registrar datos, es solo un aspecto del trabajo experimental. Es en otro sentido que el experimentador debe ser un buen observador-sensible y estar alerta. Solo un buen observador puede llevar a cabo un experimento, detectar los problemas que impiden el desarrollo del experimento, modificarlo de la manera adecuada, distinguir si algo fuera de lo común es una clave de la naturaleza o si es un artefacto de la máquina (Hacking 1992:173).

Existe una triple relación entre los modelos, la especulación, el cálculo y las aproximaciones en la concepción de una teoría científica. Por un lado, la especulación es la “representación intelectual de algo de interés, un juego de reestructuración de las

---

<sup>9</sup> En la literatura de la filosofía de la ciencia se encuentran varias propuestas acerca de la controversia realista-antirrealista, en este caso se considera la planteada por Dieguez (1998), quien propone cinco maneras de ver esta polémica. En relación con las entidades teóricas el realismo ontológico, da por sentado su existencia. Frente a las teorías científicas se pueden encontrar tres posiciones del realismo, para algunos éstas proporcionan un conocimiento de la realidad independiente de procesos cognitivos (realismo epistemológico), para otros estas son susceptibles de verdad o falsedad (realismo teórico) y el tercer grupo, para los cuales los criterios de verdad o falsedad estén en correspondencia con la realidad (realismo semántico).

El carácter progresista de la ciencia la orienta hacia la verdad como meta, denominado realismo progresivo. El antirrealismo se contrapone a las propuestas realistas en relación con las entidades teóricas, el instrumentalismo sobre entidades asegura que éstas son recursos predictivos y el constructivismo social considera que son construidas socialmente. El fenomenismo y el idealismo epistemológico respectivamente nos dan una visión de que las teorías científicas tratan solo de teorías observables y que discuten sobre una realidad construida por la mente. El pragmatismo, el coherentismo y el relativismo nos dejan ver su visión acerca del criterio de verdad o falsedad de las teorías y el antirrealismo sobre el progreso lleva a la idea que el progreso de la ciencia no puede ser establecido como un criterio de acercamiento a la verdad.

ideas que nos lleva por lo menos a un entendimiento cualitativo de alguna característica general del mismo” (Hacking 1992:242), que se puede expresar en modelos físicos o estructuras matemáticas enlazados en una dinámica permanente a lo largo de la historia de la física. La especulación y el experimento están articulados por el cálculo, esto permite una unión cuantitativa entre la teoría y la observación. En este puente hay una dinámica asociada a la construcción de modelos.

El concepto de modelo ha tenido diferentes connotaciones. Su definición ha pasado desde la idea de artefactos físicos constituidos por elementos básicos hasta el concepto en la ciencia física como algo que está en la mente y no es un objeto como tal, “hay una mezcla entre lo pictórico y lo matemático” (Hacking 1980:245) que se pueden usar indistintamente para diferentes problemas. El modelo es lo que permite la conjunción entre las teorías y los fenómenos; pero las relaciones entre estos no es simple, ya que nada parece acercarnos a la verdad: “las relaciones de los modelos con la teoría y con los fenómenos son variadas y complejas” (Hacking 1992:247).

Los fenómenos son creados por los científicos en la realización de los experimentos y después cobran lugar dentro de las teorías, es decir, “los humanos hacen las llaves, y tal vez también las cerraduras en las que se dan vuelta” (Hacking 1992:257). Experimentar se convierte en una tarea compleja, ya que implica “(...) crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos” (Hacking 1992:259)<sup>10</sup>, donde la habilidad del experimentador juega un papel preponderante, pues no es suficiente con la toma de datos sino que es importante saber cuándo funciona el experimento. Esto último trae como consecuencia que no es posible repetir una práctica, puesto que las condiciones técnicas cambian y se trata siempre de mejorarlo, más no de repetirlo.

La experimentación es la que permite dar cuenta de la realidad y da paso a que el científico sea un realista. Las entidades “(...) son herramientas, instrumentos para hacer y no para pensar” (Hacking 1992:291), de ahí la importancia del trabajo experimental, por eso el realismo acerca de las entidades está centrado en el quehacer “las entidades teóricas que no terminan siendo manipuladas terminan, por lo general, siendo tremendos errores” (Hacking 1992:304), cuando un científico manipula una entidad tiene la convicción de que su existencia es tan real como la de un objeto macroscópico. Según

---

<sup>10</sup> Iranzo (2000) expresa que se debe dar un reconocimiento a Hacking porque logra la valoración de la práctica científica, sacándola del rincón y colocándola en el debate filosófico.

Hacking, la obsesión con las representaciones ha conllevado a una imagen donde el pensamiento y la teoría dan cuenta de la realidad. En ésta última, las observaciones y la manipulación de un ente en los experimentos deben ocupar su lugar.

Se busca la realidad alojada en el lugar científico —la práctica—, pues solo tiene sentido sí ésta es manipulada en un laboratorio, en donde la representación no tendría un lugar predominante, sino que sería desplazada por la experimentación, la manipulación y todas las tareas que impliquen el trabajo experimental<sup>11</sup>.

Las prácticas científicas se constituyen en el mejor apoyo con que cuenta para dar la realidad, dejando de lado los procesos de representación y la elaboración de teorías. A pesar de que esta demanda se ha presentado en el contexto de la ciencia, se pretende quitar el lugar de preponderancia al tema representacional mantenido al interior de esta.

Suárez (2003b: 261-284) ubica la obra de Hacking en los orígenes de la línea de los defensores del nuevo experimentalismo, ya que da preponderancia al papel de la práctica experimental y al conocimiento fenomenológico del mundo, independiente del conocimiento teórico. La mayoría de los experimentos no están previstos para verificar teorías sino para establecer enunciados fenomenológicos y modelos de los fenómenos. El papel de los experimentos en la ciencia no se reduce a la verificación empírica de una teoría, sino que promulga que “los experimentos tienen vida propia”<sup>12</sup>, pues se constituyen en modelos de los fenómenos. Pues incluye no solo a los conceptos y sus relaciones sino las suposiciones acerca de la naturaleza tanto de los fenómenos que esos conceptos representan como sus relaciones. Estos modelos implican un alto nivel de abstracción, concentrándose en aspectos de categorías semánticas o conceptuales que son considerados fundamentales para la comprensión de lo representado.

---

<sup>11</sup> Las dificultades del realismo experimental, según Iranzo (2000), se centran en el acceso a las entidades observables sin mediación teórica y la fuerza de convicción del científico experimental frente a los resultados. Dar sentido a la práctica científica no tiene por qué asegurar la existencia de las entidades inobservables, pues estas surgen de los presupuestos de la práctica experimental. El término manipulación es equívoco cuando se aplica al contexto experimental de la física moderna, pues por definición solo se manipula lo que existe físicamente, de este modo las entidades terminan siendo solo herramientas y esto da por hecho lo que se quiere demostrar. Solo la inferencia a la mejor explicación permite rentabilizar la eficacia manipulativa desde una perspectiva realista, pues proporciona los elementos necesarios para dar razón de la existencia de las entidades inobservables y del valor de verdad de la teoría.

<sup>12</sup> El nuevo experimentalismo considera que el conocimiento científico tiene una estructura de tres niveles, ubicando la teoría y los datos observacionales en los extremos y una larga y compleja serie de modelos de los fenómenos actuando como “mediadores” entre teorías y datos (Suárez 2003).

La noción de manipulación experimental que Hacking profesa no parece haber tenido éxito en su tarea de reemplazar el realismo de la representación. En un primer momento, encaja bien solo en aquellas actividades científicas que permiten la experimentación, así que no es particularmente conveniente para las ciencias sociales, para las cuales el trabajo experimental es relevante, pero no es considerada de la misma naturaleza de las ciencias experimentales.

La práctica científica, sus componentes principales, su interacción y, en definitiva, su dinámica interna se constituyen en las tareas principales de la producción intelectual. Por eso, la existencia de entidades denominadas teóricas resulta problemática, según el planteamiento de Hacking, pues el argumento de la práctica experimental no puede aplicarse a la manipulación de estas entidades en otras áreas del conocimiento, de la misma manera que se hace en las ciencias naturales.

Un ejemplo de esto está dado en los problemas de la economía. Aparte de la dificultad de dirigir los experimentos en este campo, los conceptos de lo experimental y la manipulación son confusos, pues las entidades teóricas de la economía —como “el consumidor” o “la empresa”— no son fáciles de entender para las áreas diferentes a esta. Los esfuerzos por evitar o renunciar a la representación hacen que el trabajo en las ciencias experimentales se dé al nivel de las declaraciones. Pues, cuando se comienza a visualizar en cómo el científico interviene, según la expresión de Hacking, existe el compromiso con procesos complejos que involucran artefactos especializados que graban, trazan, visualizan, etc. Hacking concede importancia a los instrumentos científicos, puesto estos permiten materializar los saberes teóricos y prácticos de los científicos que estos pueden materializar en los debates, pues se pide volcar la mirada más a la observación científica en tanto acción y menos a los resultados experimentales, ya que éstas están más cargadas de técnica y de intervenciones humanas previas que de teoría.

Mientras los experimentos de laboratorio son considerados como un poderoso método de investigación en las ciencias naturales, las ventajas epistemológicas y las limitaciones del método experimental en las ciencias sociales sigue siendo controversial. La experimentación de las ciencias sociales ha tenido influencias externas, como en las disciplinas que la usan para la generación de conocimiento científico —un ejemplo es la psicología—.

La psicología experimental alcanzó un máximo nivel de estabilidad a mediados del siglo XX cuando logró desarrollar herramientas metodológicas que pudieron ser fácilmente exportadas y aplicadas a disciplinas cercanas. Sin embargo, este no es tema generalizado. Mientras que en algunas disciplinas como la economía, la experimentación ha tenido un gran avance, en otras, como ciencia política, apenas está comenzando.

A pesar de los objetivos y motivaciones de las diferentes disciplinas de las ciencias sociales, los experimentos de laboratorio se constituyen en un núcleo duro de los principios de diseño destinados a apoyar un tipo especial de deducciones y asegurar el conocimiento científico en este campo. Es así como aspectos centrales, ya sean la medición y las relaciones causales entre las variables derivadas del trabajo experimental en el laboratorio, se constituyen en factores determinantes para alcanzar determinadas condiciones. La medición en las ciencias sociales está rara vez dirigida a la determinación de las constantes universales de la naturaleza en diferentes contextos, sino más bien en el descubrimiento y las pruebas cuantitativas de las hipótesis causales. El método de variación, es decir, introducir variaciones en un factor causal potencial, es un sello característico de la experimentación científica. Ésta, a su vez, es un poderoso método para el descubrimiento de las relaciones causales —como la asimetría, contrafactual, dependencia, invariancia de la intervención— entre las variables.

El método del experimento controlado<sup>13</sup> es una poderosa herramienta para el descubrimiento causal en la economía experimental. La razón es que la experimentación controlada permite que las relaciones causales se manifiesten en el nivel de las regularidades empíricas. En un experimento realizado de forma competente, las relaciones causales pueden ser "leídas" directamente de las asociaciones estadísticas. Utilizando técnicas estadísticas, por ejemplo, se puede establecer la fuerza de las diferentes correlaciones entre las variables económicas. Sin embargo, esta metodología es cuestionada por filósofos y metodólogos por considerar que, primero, la realidad

---

<sup>13</sup> Los experimentos realizados en condiciones controladas son ampliamente utilizados en la investigación de las ciencias sociales por dos razones principales, primero, la comprensión controlada de la experimentación es el paso preliminar para la comprensión de otras formas de menor control de la experimentación, como los llamados experimentos de campo. En segundo lugar, el surgimiento de la ciencia del laboratorio ha estado llena de muchos obstáculos y se ha enfrentado a retos de diversos tipos. Estos retos proporcionan un campo de especial interés para los filósofos y metodólogos interesados en mejora de la investigación científica de tipo social.

social es diferente de la realidad natural. Como lo expresa Bhaskar (1997), “los objetos de la investigación social [...] nunca se manifiestan en sistemas abiertos”. El segundo argumento de refutación está centrado en el método experimental, pues se requiere un control total para vigilar todos los factores como sistemas cerrados o la existencia de leyes de la naturaleza que rijan tanto dentro como fuera de las paredes del laboratorio paredes. Pero casos, como los Juegos Ultimátum<sup>14</sup>, han provocado un acalorado debate en las dos últimas décadas. En primer lugar parece refutar una de las bases sólidas de las ciencias sociales teóricas, el modelo de la racionalidad egoísta, que está entre los principios básicos tanto de la economía, la ciencia política e incluso la biología teórica y la antropología. Contra la teoría estándar de la elección racional, los datos experimentales parecen reivindicar la intuición popular de que el comportamiento humano está en gran medida influenciado por factores sociales y, a menudo, impulsado por otros motivos. Por esta razón, el Juego del Ultimátum se ha convertido en una importante herramienta de investigación en debates sobre la moralidad humana, pues puede proporcionar una medida de la justicia términos de que ésta se compensa por la tendencia de los individuos hacia su propio interés.

Los científicos sociales tienen la esperanza de que los fenómenos observados en el laboratorio les enseñen algo sobre el comportamiento social y las instituciones fuera de las paredes del laboratorio. Más allá de las pruebas de validez interna y externa, un modelo tan simple como el Juego del Ultimátum, por ejemplo, reproduce muchas

---

<sup>14</sup> De acuerdo con la teoría de juegos estándar, los proponentes deben ofrecer casi nada y los usuarios deben aceptar. La idea es que los usuarios tomen decisiones ante un problema aparentemente simple o bien no reciben nada o solo lo que los proponentes han ofrecido. El primer jugador propone cómo dividir una determinada suma de dinero con el segundo. Si éste último rechaza la oferta, nadie obtiene nada. En cambio, si la acepta, el primer jugador obtiene lo que propuso y, el segundo, el resto. La complejidad de la experiencia radica en el mejor resultado a obtener, es decir, ninguno de los dos participantes preferiría irse con las manos vacías. Pero, el jugador 1 sabe que si no propone un reparto que beneficie a ambos de igual manera las posibilidades de que el jugador 2 acepte son menores. En contrapartida, el jugador 2 sabe que si acepta el beneficio será para ambos, (en mayor, igual o menor medida dependiendo de la primera elección) por lo que debe elegir si obtiene beneficio o no.

Supongamos que la cantidad mínima que se puede ofrecer es de € 1. Un euro es mejor que nada, por lo que usuarios deben aceptar. Los proponentes conocen esto, y por lo tanto debe ofrecer € 1. El conocimiento del juego y su racionalidad, y la división de € 1/9 es el único equilibrio del Juego del Ultimátum. A veces es mejor obtener 1 euro antes que nada, aunque el otro jugador obtenga 99 euros.

idealizaciones de un modelo teórico que es más fácil de controlar en el laboratorio. Pero, esto también se constituye en un punto de partida débil para extender el conocimiento experimental a otras situaciones en que estas idealizaciones no están dadas. El Ultimátum se diseñó para arrojar luz sobre algunos aspectos de la negociación de dos personas, en particular, el papel de la equidad en la asignación de excedentes. Sin embargo, la negociación se da de formas variadas y está regulada por las instituciones en diferentes contextos sociales. Está lejos de ser evidente que cualquier afirmación general se pueda derivar de la muy estilizada puesta a punto conocida como Modelo de Juegos Ultimátum.

Otros que centraron la atención en los aspectos pragmáticos de la representación en la ciencia han sido los sociólogos, entre los que se encuentra Woolgar (1979). Los científicos construyen y usan representaciones de una manera organizada y sensible al contexto. Las representaciones adquieren un significado en las actividades complejas en las que se desarrollan, en especial las dadas por pantallas visuales, tales como los gráficos, los diagramas, las fotografías y los dibujos. De esta manera, un acercamiento sociológico a un problema particular debe hacerse en términos de su relatividad social, lo cual permitirá indagar sobre la fuente, el alcance y las características de las variaciones sociales. Éstas están asociadas a la diferencia en la clase social, la filiación religiosa, la sociedad, la cultura, entre otras variables.

Esta aproximación al tema de las representaciones científicas tiene matices diferentes. Los sociólogos de la escuela etnometodológica se han esforzado por indagar cómo se producen los hechos en el trabajo científico. Construyen historias de laboratorio donde pretenden describir “realmente” lo que ocurre en la práctica científica. Esto no solo llevó a las discusiones del problema de reflexividad (Woolgar 1991) sino también a estudios en cómo las representaciones se construyen con la ayuda de medios diversos y procedimientos (Lynch 1985), cómo ellos funcionan como “los lugares activos” (Amann y Knorr Cetina 1990) y cómo guían las diversas actividades (Latour 1990).

Los puntos de vista del estudio sociológico de la ciencia consisten en “(...) aceptar que la ciencia y la no ciencia no pueden distinguirse mediante reglas de decisión” (Woolgar 1991) y que el conocimiento científico es el resultado de intrincados procesos sociales. Las reglas de decisión actúan *post hoc* de la práctica científica y permiten dar una mirada retrospectiva sobre la acción científica. Algunos de los representantes de esta

línea consideran estas reglas como elementos determinantes del quehacer científico y la existencia de factores sociales agregados que dan elementos de juicio en la explicación de la evolución de la ciencia.

Históricamente, el carácter de la ciencia ha estado en cambio continuo. Tanto la respuesta filosófica como la histórica han mostrado variaciones en las apreciaciones y esto se puede explicar desde dos posiciones denominadas esencialismo y nominalismo. El argumento esencialista considera que existe algo “ahí fuera” llamado ciencia, cuya naturaleza es cambiante y compleja. Por su parte, la propuesta nominalista frente al problema de la demarcación de las características de la ciencia surge de las prácticas de definición de los participantes y, ésta siempre se encuentra abierta a la reclasificación y a la renegociación. Por lo tanto, no existen ni la ciencia ni el método científico, pues estos se deben a diferentes prácticas y comportamientos.

La tarea que se propone Woolgar es caracterizar la posición esencialista —la idea de que los objetos existen independiente de la percepción que se tenga de ellos— desde la representación —que es el medio por el cual se generan imágenes de un objeto situado ‘ahí afuera’— y presentar argumentos para resistirse a esta posición.

La supuesta distinción entre representación y objeto conlleva a un dualismo, que pretende buscar características que se encuentran fuera de los límites de las actividades de la ciencia. Frente a esto se formulan preguntas base, entre las que se encuentran “¿cómo podemos estar seguros que el lado izquierdo — representación— es un verdadero y apropiado reflejo del derecho — objeto—?” o, de tipo metodológico, “¿qué fundamento garantiza la relación existente entre los objetos de estudio y las afirmaciones hechas sobre tales objetos?” (Woolgar 1991:47).

El problema de la adecuación entre representación y objeto se puede presentar en la forma de desastre metodológico, que consiste en indexabilidad, interminabilidad y reflexividad. En primera instancia, la indexabilidad hace referencia a las realidades que subyacen a las representaciones, que son cambiantes en función del uso. Como consecuencia de esto, frente al intento de lograr una representación, aparecen distintas versiones que no permiten tener certeza de lo que se está representando. A su vez se encuentra la interminabilidad, que sustenta el significado de cualquier representación de manera infinita. Por lo tanto, es imposible una explicación suficiente del significado de una representación. Por último está la reflexividad, que abandera la idea de que la

conexión entre el objeto y la representación es en doble dirección, es decir, que el uno apoya al otro.

Como solución al problema del desastre metodológico, que aparece en todo acto interpretativo, se han planteado cuatro estrategias (Woolgar 1991: 48):

1. Apelar a una jerarquía de conocimientos: consiste en negar la generalidad del problema, buscando estatus en las situaciones, siendo la ciencia la de mayor fiabilidad. Esto incurre en una petición de principio. La tarea del estudio social de la ciencia es indagar que características de esta última le dan esa superioridad.
2. Interpretar el problema como una simple dificultad técnica: los problemas metodológicos se tratan como si fueran dificultades técnicas, que aparecen esporádicamente debido al uso de procedimientos de representación defectuosos. Sin embargo, el problema permanece ahí.
3. Negar la importancia del problema: el mismo problema es artificial y engañoso, pues no pasa de ser un ejercicio filosófico artificial. Para las personas los desastres metodológicos no son importantes, entonces para qué estudiar sus acciones cuando no son conscientes de ellas. Sin embargo, los argumentos si resultan válidos cuando se pretende aclarar controversias y se apela al relativismo como solución a éstas.
4. Interpretar el problema como algo ajeno: los desastres metodológicos aparecen en el trabajo de los demás, pero el propio es ajeno a ellos. Esta estrategia se usa en las ciencias sociales para abordar los análisis que tienen algún tipo de relativismo, en cuanto permite abordarlos en la investigación.

El estudio social de la ciencia debe enfrentarse a la idea de la representación y presenta dos modos para abordarla. El primero corresponde a la inversión. Según éste, los objetos se constituyen a través de su descubrimiento y critica la conexión unidireccional entre la representación y la idea de que los dos objetos son distintos. El otro es la retroalimentación, que resalta las conexiones bidireccionales entre el objeto y el intento de llevar a cabo un estudio de la ciencia. De ese modo la ciencia no es una materia de estudio distinta ni separada de los investigadores.

Con estas dos ideas expuestas por Woolgar se espera “abrir la caja negra” de la ciencia, asumiendo que las representaciones se construyen con la ayuda de medios diversos y procedimientos y, que se debe unir esfuerzos por escapar de las representaciones científicas como única opción de abordar el trabajo científico.

Los etnometodólogos lograron el éxito haciendo el trabajo científico material y visible. Sin embargo, este aspecto “antropológico de la observación” contribuye a lograr un entendimiento muy superficial de los métodos de diferentes disciplinas. Analizaron diferentes experimentos realizados a lo largo de la historia de la ciencia, algunos más conocidos que otros, unos fructificaron y otros se abandonaron en el camino; desde los fallos en los experimentos de Pasteur hasta el reciente escándalo de la “fusión fría”, pasando por experimentos que sirvieron para “demostrar” la teoría de la relatividad, por el estudio de la vida sexual de las lagartijas de cola de látigo o por la investigación sobre los neutrinos solares. Ellos han “[...] descrito no solo los trabajos de los científicos más venerados, los Einstein, Newtons y Pasteurs, sino también los de otros que no mereceran, al parecer, aclamación: los grandes flujos de ondas gravitatorias de Joseph Weber y la transferencia de memoria de Ungar y McConnell” (Collins 1986).

En lugar de evadir la pregunta de representación, estudiosos en el campo de la ciencia y tecnología han intentado abordarlo de frente. Inspirados por la etnometodólogos han ido “al campo” a observar que hacen los científicos “realmente” para representar. Se han dedicado al estudio de deconstruir la representación científica en la compleja fabricación de los procesos, haciendo uso de “los documentos “o “las inscripciones”. Los resultados de los experimentos se recogen en una hoja de cifras, que el ordenador transforma en hoja de datos y produce una sola curva, con sus picos y senos determinantes, servirán de soporte para el posterior artículo. Las inscripciones de los sofisticados aparatos están en relación directa con la sustancia original del experimento; las transforman en un documento escrito. Esto da la impresión de un derroche de recursos económicos para la producción de una hoja escrita. Los científicos manejan un enorme volumen de material desordenado que deben ordenar para darle sentido al estado caótico del conocimiento como consecuencia de las informaciones sesgadas de su descubrimiento o, incluso, del ocultamiento de la información.

Las representaciones se vuelven elementos que deben ser estudiados. En este caso, en lugar de preguntar por el significado, se aborda la representación examinando “los

documentos representativos”, donde los estudios son realizados por los participantes. Lo que sigue a este acercamiento es que en los procesos de construcción de las representaciones científicas los estudiosos siguen “la línea de la asamblea” y consideran que los hechos de la actividad científica contemporánea no solo suceden en los laboratorios, sino que suceden en las controversias científicas y en la forma que éstas finalizan. Se pasa de analizar los problemas de laboratorio a los problemas en las controversias científicas.

A menudo el objetivo de la representación es moldear el objeto científico, haciendo uso de diferentes dispositivos textuales para que asuma una forma matemática que le permita ser descrito fácilmente. Como todo el conocimiento científico es construido socialmente, no hay razones cognitivas o criterios objetivos que determinen si una pretensión es válida o no. El significado está dado por la "negociación social" entre los científicos en el campo respectivo. Collins (1996) denomina a este proceso la “circularidad del experimentador”. Esto implica que la competencia de los experimentadores y la integridad de los resultados únicamente pueden ser inferidas inspeccionando los resultados. No obstante, estos últimos, si son apropiados, solo pueden ser conocidos mediante el desarrollo de un experimento competente. Por lo que concluye que la réplica no podrá por sí sola fundamentar la veracidad de una teoría y siempre será inevitable un añadido no rigurosamente técnico.

Un resultado experimental no basta por sí solo para que la comunidad científica crea una cierta aserción. Para Latour (2001: 149), la ciencia, la comunidad científica y los resultados experimentales son afectados y modificados por los experimentos. Un experimento no puede situarse exclusivamente en el laboratorio, en la literatura científica o en el debate entre científicos. Un experimento se constituye en una historia unida a un evento; es un acontecimiento, es un texto que describe un evento no textual, un texto que es analizado y discutido. Si al final tiene éxito, traspasa la connotación de texto y se convierte en un experimento.

El problema epistemológico acerca de la relación de las representaciones científicas con la realidad se debe al olvido de las relaciones del extenso material obtenido con los procesos sociales, detrás de las representaciones acabadas<sup>15</sup>. A pesar de que existen

---

<sup>15</sup> Latour (2001) expresa que normalmente se ha considerado a la ciencia como una pintura realista, pensando que se dedica a hacer una copia exacta del mundo. Las ciencias hacen algo completamente

múltiples formas de interpretación, éstas están limitadas mediante mecanismos sociales, retóricos, institucionales, entre otros, con la finalidad de deconstruir la idea de representación en cada caso en particular. Las explicaciones sociales del conocimiento científico son prioritarias al papel que desempeñan la lógica y la evidencia empírica. En concreto, se trata de describir el proceso de construcción de los hechos y explicarlo sociológicamente. “El contenido científico debe explicarse tanto como sea posible mediante el supuesto de que son los factores sociales, no los respectivos considerados técnicos, los que permite su generación y validación” (Lamo de Espinosa y otros 1994:548). La tensión de abordar el proceso en como los científicos hacen para representar, no permite ahondar sobre lo que posiblemente hacen las actividades representantes. Así, la representación y lo representado surgen, y se unen en el mismo proceso material del trabajo científico. Parece que estos estudios plantean un doble juego. Proceden en algunos casos como si excluyeran cualquier consideración de la epistemología de la representación y mostraran interés en las prácticas representativas a través de considerarlas un fenómeno social.

Hay algo contradictorio, según mi punto de vista, sobre esta manera de proceder. Primero, se hace un esfuerzo al deconstruir la noción de representación a través de estudios de casos prácticos. En segundo lugar, se desafía a los filósofos de la ciencia, pues los sociólogos tomaron la delantera frente al problema de la representación, pero hay una dificultad, pues en lugar de ir ahondando en la noción de representación, lo que hacen es mostrar como se construyen las representaciones científica, buscando ampliar su concepto. Entonces, surge la pregunta ¿realmente los etnometodólogos y otros estudiosos de CTS están confiando en una noción bastante tradicional de representación, la misma noción de la que ellos partieron para su discusión? Creo que sí, pues realmente no hay argumentos para demostrar lo contrario. Latour (2001: 34), por ejemplo, propone abandonar el modelo de núcleo/ contenido, para estructurar un esquema de cinco bucles —instrumentos, colegas, aliados, público y los vínculos o

---

diferente, a través de etapas sucesivas nos vinculan a un mundo alineado, transformado y construido. La filosofía se ha equivocado al querer ver en los fenómenos el punto de intersección entre las cosas- en si- y las categorías del entendimiento humano. Los fenómenos son aquellos que transitan habitualmente a través de la cascada de las transformaciones.

nudos — que permitirán hacer una representación realista de la ciencia. Los vínculos y nudos ocupan los puntos de intersección entre los cuatro bucles restantes, estos servirán de referente conceptual pues permite conectarlos. La transformación en cada etapa de referencia puede representarse como un intercambio entre lo que se gana —amplificación— y lo que se pierde —reducción— en cada uno de los pasos en los que se generan información.

Frente a este panorama de la deconstrucción de las representaciones científicas, se recoge de los sociólogos que la ciencia es una actividad social. La construcción de los hechos es “totalmente social” y esta queda implícita en el quehacer científico. De Hacking, se retoma la aproximación a una comprensión adecuada de las prácticas científicas y la ciencia entendida en su propio hacer, lo que los científicos van haciendo entre sí y con otros; construyendo en medio de objetos no humanos, situaciones históricas particulares, diseños de técnicas y formas de comunicación.

Los acuerdos colectivos permiten consensos estructurales que se constituyen a partir de los discursos, los valores y las prácticas sociales que circulan en una sociedad. Actúan como reguladores de conductas por adhesión o rechazo. Se trata de algo cambiante, móvil, impreciso y contundente a la vez. Produce materialidad, es decir, produce efectos concretos sobre los sujetos y su vida de relación, así como sobre las realizaciones humanas en general. Esto conlleva a que las prácticas sociales son determinantes, ya que permite que la información sea creada y transformada.

De las anteriores propuestas conviene resaltar que mantienen un punto en común: la señalización de los espacios de laboratorio y de la experimentación como lugares de grandes posibilidades para la construcción de un conocimiento más crítico con relación a la ciencia y con la sociedad.

### **1.3 Hacia una teoría general de las representaciones científicas**

La tendencia desde los años ochenta frente a las representaciones ha sido tema de debate entre los realistas —quienes consideran que éstas son las que dan cuenta de la realidad— y los antirrealistas— para los cuales lo más importante es la posibilidad de predecir y producir sucesos—. Esto parece ser una discusión sin ganadores inminentes y esta diferencia seguirá contribuyendo al debate en filosofía de la ciencia.

Esta parte de la investigación hace énfasis en el acercamiento al concepto de las representaciones desde la óptica de la ciencia contemporánea. Sí bien se puede dar una aproximación histórica, la revisión de las propuestas actuales conlleva a hacer un análisis sobre la naturaleza de las representaciones científicas y su papel en la filosofía de la ciencia y en las prácticas científicas.

La idea de abandonar estudios de casos y tratar de orientarse hacia una teoría de la representación ha sido asumida por Ibarra y Mormann (1997), quienes le apuestan a la noción de la representación, tomando como base la idea que la ciencia parte de la representación de objetos por medio de modelos, existiendo una “relación preservadora de estructuras”, cuyo significado está mediado por la intencionalidad del agente que la realiza. Proponen que la idea del carácter representacional de la ciencia está en relación directa con las principales formas “identificables en las prácticas representacionales de la ciencia” (Ibarra y Mormann 2001: 4), que se pueden clasificar como:

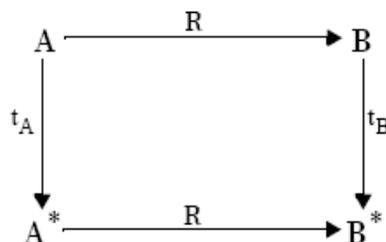
1. La representación como isomorfía,
2. La representación como sustitución,
3. La representación como homomorfía,
4. La representación como homología.

El primer tipo de representación, como isomorfía, se caracteriza por la necesidad de que exista una semejanza entre los dos objetos de la representación. En este momento no desempeña ningún papel importante en la práctica científica y se menciona solo porque la clasificación quede completa. Copias de mapas, planos y gráficas son ejemplos clásicos de este tipo de representación.

Históricamente, frente a la representación como sustitución, se puede nombrar a Aristóteles como gestor de esta postura, quién toma lo semejante a algo no como semejante, sino como aquello a lo que se asemeja. Esta concepción ha sufrido cambios como lo fue en la Edad Media, en donde se asumió como medio para acceder al conocimiento y no el fin. Se presenta en términos de ejemplos, como en el caso del embajador de un país que puede representarlo en una conferencia; un abogado que representa a su cliente o el papel del apoderado de un menor. Los números y otras magnitudes matemáticas “funcionan como sustitutos vicariales de entidades empíricas

de diverso tipo” (Ibarra y Mormann 2001: 6). Por su parte, la representación como homomorfía corresponde a la concepción de la representación “como aplicación preservadora de estructura”, entendidas como representaciones que conservan las formas. Por último, la representación como homología se caracteriza como aquel tipo de representación que no depende ni de la semejanza objetual ni de la estructural, sino aquellas que conservan la lógica. Esta concepción se introduce a partir de una idea de Hertz. Los autores pretenden mostrar que las representaciones científicas no son generalmente de tipo homomórfico, es decir, del tipo de representación que, según ellos, ha sido el más estudiado en la filosofía de la ciencia, sino de tipo homológico. En estos se contarán procesos que confían en complejos procesos que pueden ser estadístico-computacionales.

La idea de la representación como homología puede derivarse de la descripción que hace Hertz de la actividad científica como la producción de una simetría entre “las consecuencias naturalmente necesarias” y “las consecuencias intelectualmente necesarias” de sus representaciones. Esta simetría se ilustra en el siguiente diagrama:



La idea de los autores es la siguiente:

La parte izquierda del diagrama,  $A \xrightarrow{t_A} A^*$  puede interpretarse como un proceso empírico en el que se pasa del estado A al estado A\* a través de  $t_A$ . Este paso se representaría por un proceso teórico consistente en el paso de B a B\* por  $t_B$ , tal que  $t_B$  es una relación lógica [...] entre B y B\* que corresponde a la relación  $t_A$  “naturalmente necesaria” en el sentido que el diagrama conmuta (Ibarra y Mormann 2001: 30)

Otro aspecto relevante es que en la ciencia todas las representaciones forman una compleja red representacional que está constituida por diversos tipos de combinaciones. Por ejemplo, un objeto o proceso puede generar diferentes representaciones o una

representación puede valer para diferentes objetos, procesos o representaciones. Esta estructura reticular de las representaciones se podría capturar por medio de la estructura combinatoria—asociativa— de los diagramas.

Usando estos supuestos no les es difícil mostrar que la teoría matemática de las categorías es, de hecho, una teoría de la combinación de representaciones posibles. Una vez que este punto ha sido establecido, pasan a mostrar la significación epistemológica de la teoría de categorías, que es concebida como una teoría combinatoria general de las representaciones.

La búsqueda de una teoría de la representación es lograr “la identidad característica de una teoría[...]”, no reside en la base empírica dada ni en los conceptos que fijan su marco conceptual, sino en el espacio inducido, por así decir, por la relación de representación, esto es, en el encaje estructural concebido no referencialmente como singularización de los modelos estándar de la teoría, por ejemplo, sino en su sentido más estrictamente funcional, como aplicación preservadora de estructuras, y extensible a una variedad de marcos teóricos posibles en los que fija su significación (Ibarra y Mormann 1997: 10).

La tesis de que hay una teoría filosófica general de las representaciones que “capta las propiedades esenciales de las representaciones” mejor que otras propuestas parte del supuesto, ciertamente controversial, de que existen tales propiedades esenciales de las representaciones. Toda una serie de investigaciones en estudios sobre la ciencia sugiere que no hay tal teoría general de la representación y que la única manera fructífera de estudiar el tema de la representación es a través de un estudio de casos y de propuestas de clasificación de diferentes tipos de representación, que puedan servir para entender mejor como crece el conocimiento. Esto no le quita interés filosófico al tema de la representación, pero lo sitúa en un espacio de discusión que no es el que los autores proponen. Sigue siendo filosóficamente interesante entender la manera en que determinados tipos de representación están asociados con diferentes tipos de conocimiento.

La propuesta de Ibarra y Mormann (1997) ha sido criticada por algunos autores como Martínez, (2001), quien considera que este tipo de enfoque formalista del tema de la representación tiene serias limitaciones. Partiendo de la historia muestra que no queda claro qué tipo de clasificación están ofreciendo. Pero, según ellos, “se trata de una

clasificación motivada por razones esencialmente metodológicas, pero nunca queda claro cuáles son esas razones, más bien parece que las motivaciones son metafísicas” (Martínez, 2001: 75-95).

A un nivel práctico, dado la diversidad de las representaciones que se usan y la complejidad de sus prácticas, parece claro que el concepto general de representación no ayuda mucho a explicar qué tipo de cosa es y cómo se constituye.

Por otro lado, Suárez (2003a: 225-244), indica que las fuentes de representaciones científicas pueden ser objetos físicos concretos —sistemas, modelos, diagramas, imágenes o ecuaciones— para los posibles blancos. Puede haber una gran variedad de medios, ya que la representación hace su trabajo a su modo: el isomorfismo y la similitud son simplemente dos comunes pero hay otros como la ejemplificación, la convención y la verdad. Además, los medios de representación no son precisamente transparentes unos respecto a los otros, es decir, ninguna fuente lleva sus medios de representación debajo de la manga.

Suárez (2003) se opone a toda propuesta que apunte a una teoría de la representación centrada en el isomorfismo y la similitud, y frente a esto plantea cinco argumentos. El primer argumento es la observación empírica simple, pues ni la similitud ni el isomorfismo pueden aplicarse a la variedad de dispositivos de representación que se usan en la práctica de la ciencia. El segundo es que estos no cumplen algunas de las propiedades lógicas formales de la representación, como la propiedad simétrica, reflexiva y la relación transitiva. El tercer es que no permiten acercamientos a la falsedad o la representación inexacta. El cuarto es que no son necesarios para la representación, ya que fallan en algunos casos de representación exitosa. El quinto y último argumento es que no son suficientes para la representación, puesto que omiten esencialmente la direccionalidad de la representación.

La intencionalidad del agente, su competencia y su capacidad para permitir el razonamiento serán la clave en el proceso de representación. A solo representa a B si (i) la fuerza representacional de A apunta hacia B, y (ii) A les permite a unos agentes informados competentes plantear las inferencias específicas respecto un B. Esta formulación supone la actividad de agentes competentes e informados. La fuerza de "representación", según Suárez, es "la capacidad de la fuente para permitir que un usuario competente e informado realice consideraciones de la meta". Esta propiedad

"relacional y contextual de la fuente" es fijada y mantenido en parte por los usos de representación previstos de la fuente por los agentes. La parte ii de la formulación contribuirá a la objetividad que se requiere de la representación científica. Suárez afirma que, en comparación con la parte i, la parte ii depende de la existencia de un agente. En su lugar "requiere de la A tenga la estructura interna que permite a los agentes informados realizar inferencias sobre B". Así, a pesar de que Suárez no quiere especificar qué clase de relación existe entre el origen y el destino, no obstante, tiene que estar basada en la estructura del vehículo representativo de alguna manera. Así, los modelos se satisfacen por inferencias de sus blancos, pues es factor importante la actividad intencional de los usuarios de la representación, negando que la relación de representación solo pueda tener en cuenta las propiedades respectivas del vehículo representativo y su objeto designado.

La concepción de la representación es inferencial, por lo tanto, todo tipo de representaciones mantiene una serie de relaciones que tienen un carácter a producir nuevas representaciones, o a generar acciones permitiendo a los agentes disponer de nuevos elementos para su interpretación. Zamora (2005a:199) expresa frente a la interpretación inferencialista que, para entender un significado, es primordial presentar razones con el fin de buscar la aceptación, de tal manera que se aceptaran las consecuencias producto de esta. Esto lo autoriza para llevar a cabo determinadas afirmaciones: "las inferencias que uno debe ser capaz de dominar para realmente comprender un concepto o un enunciado no son únicamente internas al lenguaje: por ejemplo, de ciertas afirmaciones no se seguirán tanto otras afirmaciones, cuanto determinadas acciones y, a sí mismo algunas afirmaciones no se seguirán de otras, sino más bien de ciertas percepciones". La noción "generalizada" de "inferencia" no indica solo una relación entre conjuntos de enunciados, sino también entre eventos y enunciados, o entre enunciados y acciones.

El carácter inferencial permite abrir caminos a la mediación de los modelos, pues el uso de este presupone la aceptación previa, entendida inferencialmente, así este no puede usarse salvo si se acepta todas las consecuencias que se derivan de este. Es la capacidad de los modelos como generadores de inferencia que les permite usarlos como representaciones.

Estas son dos aproximaciones de la diversidad de maneras de reconocer la complejidad de las prácticas representacionales. El propósito de postular una teoría general de las representaciones que existen en la ciencia es una tarea compleja que apenas comienza y sobre la cual no hay acuerdos, pues algunos consideran que más que una teoría debería estudiarse el tema de la representación a través de un estudio de casos y de propuestas de clasificación de diferentes tipos de representación, que puedan servir para entender mejor como surge el conocimiento.

La consideración de un agente como elemento fundamental en la teoría de las representaciones consideradas en este apartado, lleva a que sea este quien tenga la capacidad de generar los medios representacionales —modelos, diagramas, gráficos— que permitirán lograr un acercamiento a lo que se pretende representar, pues la consecución de información del medio, la búsqueda de medios representacionales y su comunicación son las tareas de la actividad científica. Un buen acercamiento a ellas, en última instancia, permitirá la generación de conocimiento, justificando su papel epistemológico<sup>16</sup>.

#### **1.4 Concepciones filosóficas acerca de los modelos como representaciones**

Teniendo como referencia la representación desde el ángulo de los modelos científicos, se enfatiza en los métodos, los ingredientes y los dispositivos representativos que se necesitan. Por esto se considera valioso revisar las propuestas de Hughes (1997), Giere (2004), Morrison- Morgan (2004) y Knuuttila (2005). Los modelos no solo funcionan como herramientas y generadores de inferencia, sino en derecho propio, como objetos de investigación.

Hughes (1997:325-336) llama representación a las “construcciones teóricas, modelos y la relación entre ellas [...] pero no todas las representaciones sobre el mundo son

---

<sup>16</sup> Suárez (2003: 261-284) expresa: “en literatura castellana el modelo de tres niveles ha sido descrito por Ibarra y Mormann (1998), aunque con un propósito ajeno o incluso contrario al *new experimentalism*, puesto que para estos autores los tres niveles constituyen los componentes de las teorías científicas, mientras que, de acuerdo con los *new experimentalists*, los dos niveles más concretos (datos y fenómenos) no son en absoluto componentes de teoría alguna. Más bien al contrario, tanto los datos como los fenómenos se definen en parte por hallarse en la clase de contraste *opuesta* a la de las teorías científicas. En este trabajo adopto escrupulosamente la concepción del *new experimentalism*: teorías, fenómenos y datos son tres categorías diferenciadas del conocimiento científico, cuya intersección es el conjunto vacío”.

modelos teóricos”. Plantea tres componentes DDI —designación-demostración-interpretación— que corresponde a diferentes aspectos de la práctica científica. Según Hughes, la representación científica puede ser analizada útilmente como una noción de tres partes, que incluye la designación física del sistema y sus propiedades por medio de elementos del modelo, incluyendo las ecuaciones, los diagramas, etc.; la demostración de las consecuencias dinámicas del modelo y la interpretación de estas consecuencias.

La teoría de representación que Hughes defiende tiene los elementos de “la designación” —los elementos del modelo, por ejemplo, denotan los fenómenos- y “la demostración” —usa el modelo para conseguir un resultado— y “la interpretación” —el resultado se interpreta físicamente—. DDI no proporciona requisitos y condiciones suficientes para cuando una representación tiene lugar; más bien, Hughes está “haciendo una modesta sugerencia, pues si examinamos un modelo teórico con estas tres actividades en la mente, podremos lograr alguna visión en el tipo de representación que proporciona”. Sin embargo, esto no es considerado por Suárez, quien afirma que el modelo DDI de Hughes no puede constituirse en una teoría general de la representación, ya que la denotación, la demostración y la interpretación son las condiciones necesarias pero no suficientes. “Para Hughes, la representación involucra la demostración esencialmente, y por lo tanto requiere llevar a cabo las inferencias sobre la fuente por parte de un agente” (Suarez 2004: 767- 780). Esto permite abrir el debate sobre otros aspectos diferentes a la similitud y al isomorfismo presentes en las teorías de representación.

Algunos filósofos de las ciencias han asumido el tema de las representaciones considerando que los modelos científicos pueden asumir el papel fundamental de esta, pues estos se han convertido en verdaderos ensambles heterogéneos que con sus diferentes roles permiten aproximarse al conocimiento. A pesar de las diferentes orientaciones filosóficas es posible reconocer en ellos sus posturas acerca de lo que se asume como modelo.

La propuesta de Giere (1992) sobre la representación científica ha estado influenciada por el desarrollo de la ciencia cognoscitiva en las últimas décadas, según lo expresa se debe “usar los conceptos y métodos de las ciencias cognitivas para estudiar la propia ciencia” (Giere 2004:742-752). Se parte de que el ser humano, gracias a su evolución, tiene capacidades cognitivas como la percepción, la memoria, el control locomotor, la

imaginación y el lenguaje, los cuales le permiten interactuar con el ambiente y, estas mismas capacidades le han permitido al científico además de interactuar, construir la ciencia moderna. Las ciencias cognitivas aportan los recursos más poderosos y prometedores para estudiar la ciencia como una empresa cognitiva y a los científicos como agentes cognitivos.

El tema central de la discusión son las representaciones, que “son mapas internos del mundo externo” (Giere 1992:10). Con mapas internos se refiere a las creencias, modelos y teorías. Caracteriza cada uno de estos medios que permiten las representaciones. El concepto fundamental en la práctica representacional está fundamentado en los modelos. Presentar una teoría es especificar a una familia de estructuras, modelos y, después se debe especificar una cierta parte de esos modelos como candidatos para la representación directa de los fenómenos. Giere niega que la relación entre el modelo y un sistema real no es principalmente el de la verdad, correspondencia o isomorfismo sino de similitud. No muestra interés por definir la noción de similitud, pues, en su opinión, las ciencias cognoscitivas evidencian que “la cognición humana y la percepción operan con base a alguna clase de similitud métrica, los eslabones entre los modelos son más bien las relaciones de similitud que las conexiones lógicas. Los modelos son objetos abstractos construidos en conformidad con apropiados principios generales y condiciones específicas” (Giere 2004:747). Poder usar un modelo para representar algunos aspectos del mundo permite escoger de forma pertinente los rasgos similares. La existencia de las similitudes específicas hace posible el uso del modelo para representar el sistema real de esta manera. Sin embargo, esto no impide a los modelos proporcionar intuiciones profundas y útiles acerca del funcionamiento del mundo natural.

La ciencia proporciona modelos de la realidad que poseen varios grados de alcance y precisión. La clase de modelos científicos incluye modelos físicos a escala y representaciones por diagramas, pero los modelos de mayor interés son los modelos teóricos. Estos son objetos abstractos, entidades imaginarias cuya estructura puede ser o no similar a aspectos y procesos en el mundo real. Los científicos hablan corrientemente de la correspondencia entre sus modelos y el mundo.

Desarrolla su visión de modelos basado en la mecánica clásica presentada en los libros de texto avanzados, teniendo en cuenta que los estudios fundacionales sobre los cuáles

se ocupan algunos filósofos, “no han influido en la manera como los científicos enseñan, aprenden o entienden la ciencia” (Giere 1992:27). En los textos se presentan estudios de casos, como el del oscilador armónico que posibilitan la interpretación y la identificación.

Por ejemplo, en la fórmula  $F = -kx$ , podemos interpretar  $x$ , como el desplazamiento de una partícula respecto de su posición de reposo. Al aplicar la fórmula al estudio de una cierta masa unida a un resorte, identificamos  $x$  como el desplazamiento de esta masa en particular respecto a su posición de equilibrio (Giere 1992:90).

Así, el “oscilador lineal” no es un solo modelo con versiones específicas diferentes sino un racimo de modelos de variantes grados de especificidad. Encuentra como norma en los libros de texto “una población de modelos que consisten en familias relacionadas de modelos” (Giere 1992:104). Los modelos como tales no se constituyen en verdad o falsedad respecto a el mundo; el papel de la teoría es más bien exigir un “el ataque bueno entre los modelos y algunos tipos importantes de sistemas reales” (Giere 1992:107). Por consiguiente, sugiere que una teoría comprende dos elementos: (1) una población de modelos, y (2) varias hipótesis que unen aquéllos modelos con los sistemas en el mundo real. Como una consecuencia para un científico la teoría no resulta ser una entidad bien definida. Nada en la estructura de cualquier modelo podría determinar si pertenece a una familia dada de modelos o no. El juez es la comunidad científica quien determina si el parecido es suficiente. Esto permite plantear la relación triádica donde las decisiones por parte de los científicos permiten aceptar los modelos como las mejores representaciones de la realidad. “Los científicos son agentes intencionales con metas y propósitos específicos” (Giere 2004:743), los términos de la representación estarían dados por la forma “S usa X para representar W para propósitos P” (Giere 2004:743), donde S puede ser un científico individual, un grupo de científicos o una comunidad científica, W es un aspecto del mundo real y X son los modelos<sup>17</sup>.

La idea de que los modelos son entidades abstractas corresponde con la idea de “los modelos mentales”, propuesta en la ciencia cognoscitiva algunos hace años. Pero,

---

<sup>17</sup> Giere (1992) ha sido objeto de críticas en cuanto a la naturaleza de las teorías, pues las presenta como mapas cognitivos pero las acompaña de hipótesis de aplicabilidad, “Cabe preguntarse por la naturaleza psicológica de esta hipótesis: ¿es ella misma un mapa cognitivo?, ¿o acaso las afirmaciones con contenido proposicional no son ellas mismas representaciones posibles de la realidad? (Zamora 2005:109), este es un problema no claro en las propuestas denominadas naturalista”.

también persiste la idea de que los modelos deben ser cosas materialmente existentes de alguna clase, ellos funcionan como las herramientas centrales de la ciencia y median entre las personas y otros artefactos. En esta concepción se enmarca lo expuesto por Morrison y Morgan, quienes proponen que se debe investigar los modelos usados en la ciencia para entender el tipo de entidades, qué son y cómo funcionan.

Atribuyen la importancia de los modelos a los procesos de construcción y a la manipulación en lugar de enfocarse unilateralmente en la representación. Enfatizan en que se aprenden de los modelos construyéndolos y manipulándolos, por lo tanto, son algo más concreto que una simple idea conceptual. Estos son, en parte, los mediadores independientes entre la teoría y los datos. Por ejemplo, para hacer una economía matemática, el economista no solo necesita del lenguaje, de los términos ó las fórmulas matemáticas, sino además imaginar un mundo matemáticamente descrito, dentro del cual sus ideas económicas puedan expresarse. La economía confió en los procesos de imaginación e imagen que hicieron los matemáticos, pero la matematización de la economía permitió concebir un cambio en cómo los economistas entienden y perciben los fenómenos económicos.

El acto de representación involucra la visualización directa del mundo económico en los símbolos matemáticos y otros formularios de designación no-verbal para crear un nuevo mundo en el modelo. Llegar a la versión recientemente hecha del mundo económico requiere la imaginación sobre cómo representar el mundo y hacer una imagen de él en un modelo. Es por eso que la representación se vuelve un complicado proceso productivo e interpretativo.

Siguiendo la misma línea de trabajo se encuentra la propuesta de Knuuttila (2005), quién plantea la concepción de modelos como artefactos epistémicos, lo cual se resume en los siguientes puntos: i) los modelos son artefactos humanos, que se usan para actuar recíprocamente con el mundo en lugar de usarse para representarlo; ii) más que construcciones teóricas abstractas, se conciben como entidades que se materializan en algunos medios de comunicación; iii) el valor epistémico de los modelos sobrepasa pretenciosamente de su dimensión material y explica el porqué los modelos tienen otras funciones epistémicas además de la representar el mundo; iv) la función representacional de los modelos no debe aproximarse a términos representacionistas comunes, y v) la representación es la actividad que cuenta tanto con el medio específico

de la señal-vehículo material y el proceso intencional de relacionar la señal-vehículo a su objeto, denominándose el pragmatismo triádico.

El acercamiento a los modelos debe hacerse desde su valor productivo donde su quehacer y posibilidad de experimentación le dan un valor epistémico. El uso y los puntos de vista productivos le permiten acercarse a lo que podría llamarse representación, pero se hace necesario superar ese concepto hacia una función no representacionalista.

La concepción semántica de las teorías científicas expresa que los modelos semánticos o metamatemáticos de la teoría proporcionan los elementos suficientes para abordar la relación entre modelos y el mundo, ya sea a través de predicados teóricos, uso del lenguaje matemático ó las ciencias de la comunicación. Sin embargo, no hay un consenso frente a la concepción de modelos. Se encuentran posiciones en las cuales los modelos son asumidos como abstracciones de la teoría o clase de modelos —las diferentes proposiciones, las frases, etc.— que nos indican una concepción de la realidad o aspectos de esta. Los modelos están en el mundo en algún sentido y sobre estos se obtienen rendimientos epistemológicos distintos, pues se acude a instancias de isomorfismo entre la teoría y el mundo. Ciertamente es correcto decir que planean representar el mundo, que son entidades representativas.

### **1.5 Puntos de vista productivos de los modelos en la práctica científica**

Desde el punto de vista de la producción de conocimiento una parte importante del trabajo de representación que se lleva a cabo en las ciencias se concentra en lo que ya está representado y el modelo de alguna manera. En cuanto a la representación desde el punto de vista de la concepción pragmática se debe hacer énfasis en los métodos, y los variados dispositivos de representación que conlleva el uso de modelos.

Considerando que el hecho significativo de la representación científica tiene sus cimientos en la práctica de los científicos se hace necesario entrar en sus propias concepciones filosóficas acerca de los modelos como representación. Retomando a Knuuttila (2005), el valor epistémico de los modelos toma relevancia partir de su valor productivo en el quehacer y la experimentación. La práctica, uso y producción les permite acercarse a lo que se podría llamar representación. La filosofía de la ciencia

propone una discusión acerca de la formulación de los modelos en la práctica científica pero se hace necesario preguntarse cómo estas diversas propuestas funcionan en la ciencia, y es cuando es interesante adentrarse en el discurso científico para comparar como ellos conciben los modelos en su práctica.

El reciente auge de la práctica científica, a través de la construcción y uso de modelos, ha permitido un avance significativo en las experiencias de los científicos. Además, ha contribuido a la solución de situaciones problemáticas, y disminuido la tensión entre las formulaciones teóricas y el quehacer práctico. Este referente es interesante en la medida que permite visualizar el camino trazado por los hombres de ciencia en la materialización de sus propuestas de modelos.

De Gennes Pierre-Gilles, quien fue Premio Nobel de Física en 1991, mostró cómo pueden usarse analogías simples para entender sistemas complejos como los cristales líquidos y polímeros. Estos materiales son al mismo tiempo sólidos y líquidos. Él explicó las propiedades de los materiales sobre las transiciones de fase orden-desorden en sistemas más simples. De Gennes descubrió que aunque las transiciones de fase en materiales diferentes dan lugar a fenómenos extensamente diferentes, estos son gobernados por parámetros diferentes, como temperatura, la concentración, campo magnético o eléctrico, que pueden describirse de una manera muy general. Si la estructura es un cristal líquido, ferromagnético, superconductor o polímero, pueden identificarse rasgos universales y pueden ser explicados por leyes de escala simple. “¿Qué queremos decir nosotros por materia suave? Los americanos prefieren llamarlo “fluido complejo” .Aunque parezca un nombre bastante extraño y poco atractivo trae consigo dos rasgos mayores:

- i) La complejidad: podemos decir que la biología moderna ha procedido desde el estudio de modelos simples —bacterias— a organismos multicelulares complejos —plantas, invertebrado, los vertebrados, etc. — . Semejante a la explosión de física atómica en el primero la mitad de este siglo, uno de los aspectos superados es la materia suave, basada en los polímeros, cristales líquidos y granos coloidales.
- ii) la flexibilidad. Explica esto a través de un experimento del polímero temprano, este es el hecho conocido por los indios del Amazonas: ellos recogen la savia del árbol del hevea, lo ponen en su pie, lo dejan secar

durante un tiempo corto y luego tienen una bota. Desde un punto de vista microscópico, la explicación de este hecho, es la estructura en cadenas de polímeros independientes, flexibles. El oxígeno del aire une los puentes entre las cadenas, y esto conlleva a un espectacular cambio: se cambia de líquido a una estructura de la red que puede resistir tensión - lo que nosotros llamamos un caucho —en francés: el caoutchouc, una transcripción directa de la palabra nativa—. Lo que está mostrando este experimento, es el hecho que una acción química ha inducido un cambio drástico en las propiedades mecánicas: un rasgo típico de la materia suave<sup>18</sup>.

El valor epistémico del modelo planteado está en la intencionalidad del científico, pues no basta solo con el modelo teórico, el modelo empírico y la coherencia entre ellos sino que entra en juego la inferencia a buscar una explicación que permita abordar el hecho que se estudia, su extensiva aplicación a otros campos y la generación de nuevas explicaciones permiten entender su valor dentro del campo científico

Según Prigogine (1977), desde el campo de la ciencia, la idea de las leyes de la naturaleza ha perneado el concepto de la ciencia occidental, tanto así que se justifica desde un carácter finalista, “pareciera que la naturaleza está obligada a cumplir ciertas reglas”. Esto último conlleva al desarrollo de la ciencia moderna, pues las explicaciones estaban dadas en relación con las leyes de la naturaleza. Según lo expresa Poincaré, al hacer referencia al éxito de la teoría cinética, los modelos se formulan a partir de las leyes, se constituyen en los pilares de la explicación y, en algunos casos, permiten formular teorías. “Tal vez sea la teoría cinética de los gases la que se desarrollará y servirá de modelo a las otras [...] La ley física cobraría entonces un aspecto totalmente nuevo [...] poseería el carácter de una ley estadística” (citado por Prigogine (1977:31). Las preguntas sobre la utilidad del estado representacional llevan a un pragmatismo y sirven de ayuda pragmática al reconocimiento de una relación representacional, que es constituido por otro.

---

<sup>18</sup> Palabras del discurso pronunciado por De Gennes en Estocolmo en Diciembre de 1991 cuando recibió el premio Nobel de Física por el Desarrollo de métodos para estudiar fenómenos de orden complejo traducidos a sistemas simples y cómo estos pueden generalizarse a las formas más complejas de materia, en particular a los cristales líquidos y polímeros.

Cuando se usan modelos se buscan ámbitos de explicaciones posibles, que estarían dadas por las propiedades del modelo, es un “modo de presentar las estructuras que posiblemente tengan las materias” (Hanson 1997). El premio Nobel de Física del año 1997, Anderson, Philip, expresó en la ceremonia en Estocolmo que:

El arte de la construcción de modelos es la exclusión de partes reales pero insignificantes del problema...la construcción de modelos comporta peligros para el constructor y para el lector, el constructor puede pasar por alto algo que sea realmente de importancia, mientras que el lector producto de una computación realmente precisa puede tomar literalmente un modelo esquemático, cuya meta principal sea la demostración de una posibilidad (citado por Judson 1984:48).

En la teoría de Anderson, físico del estado sólido de los Laboratorios Telefónicos Bell, el modelo se expresa como un conjunto de ecuaciones, apenas una página de relaciones simbolizadas. Galison (2004) intenta mostrar como Einstein y Poincaré buscan especies de modelos útiles para su trabajo a través de los relojes y de los mapas respectivamente. La formulación de modelos es, por tanto, indispensable en el trabajo científico. Los tipos de modelos pueden variar de ser un conjunto de ecuaciones a un mapa o, un conjunto de relojes pueden pasar a ser mecanismos más complejos, donde está presente todo el proceso creativo de sus creadores.

El juego incesante entre la predicción y la corrección del modelo es la característica principal de toda teorización en la ciencia. Los modelos complejos permiten teorizaciones, como en el caso de Linus Pauling, quién en 1948 presentó un modelo que compilaba los trabajos realizados en los últimos diez años acerca de la naturaleza de la vida. Formuló la estructura de las proteínas como cadenas de enlace enroscados, llamada hélice alfa y, a partir de la utilización de perillas y bolas de colores brillantes, representó los átomos que funcionaban casi como una ordenador análoga para prevenir errores. Las formas y tamaños de las perillas eran exactas, hasta una milésima de centímetro para representar con precisión los tamaños a los cuales los átomos empiezan a disponerse de otras maneras en las diversas combinaciones; las uniones, a través de los cuales encajan, tenían ángulos y distancias correctas. Frente a la pregunta ¿es el modelado una forma de construir teorías? Respondió: “Sí, así lo creo [...] la construcción de un modelo puede representar el desarrollo de una teoría y con un

modelo la teoría será precisa” (citado por Judson 1984:65). Observando los detalles del modelo, éste no daría respuesta de verdad o falsedad. Simplemente se ajusta a las necesidades de explicación del científico. Si la representación es una relación, entonces un modelo no puede representar el ADN a menos que éste exista. No hay ninguna razón para temer que solamente el estado aproximado de un modelo imponga su capacidad de representar. Schrödinger (1952:136) expresó:

Nunca podemos decir qué es en realidad o qué ocurre en realidad, sino solo lo que es observable en cada caso concreto, ¿debemos contentarnos con esto como algo permanente? En principio, sí. Está muy lejos de ser nuevo afirmar que, en principio, la meta última de la ciencia exacta debe limitarse a la descripción de lo realmente observable. La respuesta es solo si, en adelante- como hasta ahora-, habremos de renunciar a conectar esta descripción con una hipótesis definitiva sobre la verdadera estructura del universo. Existe una difundida tendencia a insistir en esta renuncia. Pero yo creo que esto es tomar las cosas a la ligera.

De esta manera se llega al punto de encuentro con los filósofos, quienes discuten si las teorías como representaciones y éstas como modelos se constituyen en las piezas claves de la investigación científica. Según Olivé (2005), “una teoría aproximadamente verdadera es una teoría que a través de sus modelos ofrece una descripción correcta, o adecuada, pero siempre parcial de sistemas reales, de su estructura y funcionamiento”. Las concepciones acerca de los modelos por parte de los científicos son tan variadas que las técnicas y medios comunicacionales se confunden con la concepción de modelo que subyace, pero lo interesante en esta revisión es encontrar puntos de encuentro entre agentes diferentes —en este caso filósofos y científicos—, que tienen formaciones e intereses diferentes pero que encuentran en la representación un punto de discusión.

Los textos de física se constituyen en promotores de modelos que cumplen determinadas funciones de acuerdo a las aplicaciones que se les quiera dar, cumpliendo la intencionalidad del agente. Los variados vehículos de representación son usados en las escenas científicas —los modelos, las ecuaciones, las construcciones, los dibujos, etc. — y como estos representan sus blancos —la conducta de gases ideales, las evoluciones de estado cuántico, los puentes— en virtud de los estados mentales de sus constructores o usuarios. Por ejemplo, un dibujo representa un puente, porque el

fabricante del dibujo estipula que lo hace y hace creer a su público, la creencia que lo hace, responde de forma alguna a los propósitos personales, los puntos de vista o intereses de los investigadores.

La percepción de los modelos como mediadores entre las teorías, fenómenos y datos, nos permiten ubicarlos en la concepción práctica de modelos considerándolos como los mediadores independientes entre la teoría y los datos. Su papel como artefacto epistemológico le permiten acceder al conocimiento de muchas maneras, más que ser los representantes directos; la consideración como objetos y herramientas de investigación permite, a través de los medios comunicacionales, la búsqueda del carácter inferencial del modelo, y esto nos lleva a buscar un ejemplo desde la física cuántica que dé razón de estos aspectos.

Los libros de texto se han constituido en la principal fuente de acercamiento al conocimiento científico, tal como lo expresa Giere (1992:86): “si deseamos enterarnos de lo que es una teoría desde la perspectiva de los científicos que la usan, una manera de proceder es examinar los libros de texto de los cuales aprendieron la mayor parte de lo que saben acerca de esa teoría”.

La tendencia a lo largo de los textos de mecánica cuántica ha favorecido la propuesta de Schrödinger frente a la de Heisenberg. Históricamente, la formulación de la mecánica matricial tuvo lugar en 1925 con Werner Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan, a partir de los conceptos de energía y probabilidad y, en 1926, Schrödinger formuló matemáticamente la mecánica cuántica en términos de ecuaciones diferenciales, aunque hizo una equivalencia parcial con la matricial. Las ecuaciones diferenciales se constituyen en los instrumentos favoritos de la física, ya que permiten plantear modelos para la comprensión de la materia: las moléculas pueden ser tratadas como si fuesen ondas<sup>19</sup>.

Un modelo ondulatorio de la materia era una guía adecuada para construir una teoría, la tarea era encontrar una ecuación de onda para las ondas materiales.

---

<sup>19</sup> Los procesos de matematización no consisten en la traducción a un lenguaje preciso de un modelo preexistente. Es a través de ellos que se permite la producción de modelos, siendo las matemáticas una de las formas intencionales de las actividades humanas.

Cuando aplicó la ecuación a varios problemas de la teoría cuántica que servían de piedras de toque, el oscilador armónico, el rotador simple, el rotador vibracional y el átomo de hidrógeno —algunas de las aplicaciones que hacía poco emplearan Heisenberg, Born, Jordan y Pauli para verificar la nueva mecánica de matrices—, obtuvo precisamente los espectros de energía requeridos. Incluso obtuvo el estado energético fundamental semientero en vez de nulo para el oscilador armónico, resultado que Heisenberg había exhibido orgullosamente varios meses antes, cuando introdujo su nueva cinemática cuántica (Wesel 1990:234)

Al analizar esta decisión desde los modelos productores propuestos por Knuuttila, se debe hacer énfasis en los métodos, los ingredientes y los dispositivos representativos que permitieron que la propuesta de Schrödinger se impusiera a la Heisenberg en los libros de texto. Por un lado, se debe estudiar los artefactos y los modelos; sus interacciones específicas y sus producciones, así como los medios de comunicación, métodos y los conocimientos. Por otro lado, se debe estudiar cómo la relación representativa entre la señal-vehículo y su objeto es logrado. El ejemplo tomado se centra en los procesos de construcción y controversia en lugar de enfocarse unilateralmente en la representación.

Dos importantes disciplinas matemáticas son esenciales para entender la mecánica cuántica. Una de ellas es el álgebra lineal —matrices y determinantes— y la otra son las ecuaciones diferenciales. Es considerado que los dos modelos matemáticos, aunque son diferentes pueden ser equivalentes, porque ellos pueden transformarse entre si —aunque no recíprocamente—<sup>20</sup>.

El trabajo de Heisenberg en la mecánica matricial es de una naturaleza especializada. Hoy día el álgebra lineal es un asunto de los primeros cursos de matemáticas de la universidad pero, en 1925, era una rama desconocida para los físicos. Fue publicada en

---

<sup>20</sup> Las matemáticas como medio representacional ha tenido una larga tradición filosófica, en la llamada filosofía de las matemáticas. De Lorenzo (2005: 28) expresa que se pueden distinguir tres momentos de fundamentación de las matemáticas; el logicismo que se fundamenta en la lógica, la que se apoya en la epistemología y la teoría causal del conocimiento, donde se incluye el logicismo renovado, el estructuralismo logicista, el modelismo y el nominalismo, y por último, el que busca fundamentar el quehacer matemático de una significación numérica.

1924 por Hilbert- Courant en el libro *Métodos de Física- Matemática* y aprovechada por Böhrr, Heisenberg y Jordán para la formulación rigurosa de la mecánica de matrices<sup>21</sup>.

Esto nos lleva a preguntarnos por el papel de las matemáticas en la representación, el protagonismo dado en otras concepciones diferente a los modelos como mediadores, la ubican en una posición privilegiada denominándola “el lenguaje de la física”, tratándola como monismo representacional por excelencia en las ciencias físicas y contrapuesto a esto es el pluralismo representacional que presupone la intencionalidad del agente en los procesos que lleva a cabo<sup>22</sup>.

En la formulación clásica, el movimiento de una sola partícula de masa  $m$  es determinado por las coordenadas de posición  $x, y, z$  y por los componentes del momento  $p_x, p_y, p_z$ : la cantidad de movimiento está definida como el producto de la masa  $m$  de la partícula y sus componentes de velocidad  $v_x, v_y, v_z$ . Así,  $p_x = mv_x$ , etc.

$p_x$  es llamada conjugada de la coordenada  $x$ ,  $p_y$  de  $y$ ,  $p_z$  de  $z$ . La anterior descripción puede generalizarse a un sistema de muchas partículas introduciendo un juego de coordenadas generalizadas  $q_i$  y los momentos conjugados  $p_i$ . Estas generalizaciones de coordenadas y momentos constituyen la base para la formulación de mecánica de matrices.

En la mecánica matricial, las coordenadas  $q_i$  y los momentos  $p_i$  se representan simbólicamente por matrices. Por simplicidad, se considera el movimiento en una sola dimensión. La regla de cuantización requiere que la diferencia entre el productos de dos matriz  $p \cdot q$  y  $q \cdot p$  sea igual a la matriz identidad  $I$  multiplicado por el factor  $h/2 \pi$ . Este último término, se define como  $\hbar = h/2 \pi$ .

La regla de cuantización podría escribirse por consiguiente como,

---

<sup>21</sup> Hilbert considera que a matemática tiene dos partes; una parte real, apoyada en el signo y en los razonamientos finitos sin manejo de cuantificadores. El signo se constituye en la idea filosófica mínima, para fundamentar, comprender y comunicar todo pensamiento. Y una parte ideal, que debe ser primero axiomatizada y luego formalizada, entre ellos se encuentran los números complejos, los elementos de la geometría proyectiva, y la noción de infinito actual (De Lorenzo 2005:22).

<sup>22</sup> Iranzo (2003:363) hace una clasificación de los medios representacionales, denominándolos naturales y artificiales, un medio natural es el lenguaje, el lenguaje artificial puede ser un diagrama de flujo. Los dos medios representacionales son complementarios o suplementarios según el caso.

$$p \cdot q - q \cdot p = \hbar I$$

Para determinar los estados estacionarios de un sistema, es necesario primero expresar la energía del sistema como una función de la coordenada  $q$  y del momentum  $p$ . Esta función es conocida como la función Hamiltoniana  $H$  del sistema. La matriz  $H$  que representa el Hamiltoniano es obtenida sustituyendo las matrices  $q$  y  $p$  en la expresión analítica para el Hamiltoniano.

Los estados estacionarios del sistema son derivados, identificando las expresiones de la matriz  $q$  y  $p$ , asociados en la diagonal de  $H$ , es decir, una matriz  $H$  donde todos los elementos no diagonales son cero. El procedimiento es bien definido, lógico y consistente y, fue aplicado para derivar con éxito los estados estacionarios del oscilador armónico. Sin embargo, la matemática que es requerida para las aplicaciones de otros sistemas es sumamente engorrosa y, por consiguiente, el uso práctico de la mecánica matricial fue limitado.

La intencionalidad del agente en la representación conlleva a retomar lo planteado por Zamora (2005a:162), quien expresa que hay una cuádruple analogía entre el sistema científico y el sistema económico. El valor científico dependerá de los factores objetivos y subjetivos, en este caso, vale la pena resaltar este factor pues las interpretaciones inferenciales de cada científico como agente intencional le permiten obtener valores epistémicos a sus modelos, lo cual se traduce en una distribución de valoraciones. La valoración epistémica llegará a una situación de equilibrio cuando, en la confrontación de los modelos de representación, no haya un incentivo mayor del uno frente al otro, poniendo en juego la autoridad cognitiva que tiene que ver con las relaciones de recursos, de productividad, de los modelos en competencia, y de las normas de la comunidad científica con las que se encuentran los modelos en competencia. Esta propuesta permite ver la intencionalidad del agente en los modelos mediadores desde una perspectiva económica.

Heisenberg pensaba que la descripción mecánica cuántica de sistemas atómicos debería centrarse solo en las cantidades físicas notables. Por consiguiente, no deben usarse las órbitas y velocidad adquirida de los electrones dentro del átomo porque no pueden observarse. La teoría debe partir de los datos experimentales que pueden derivarse de los espectros atómicos. Las valoraciones epistémicos del modelo de Heisenberg indican que ante todo buscaba un modelo centrado en identidades no observables. Como lo

propone Hacking (1992), su existencia debe ser inferida a partir de la evidencia observacional, jugando un papel importante las prácticas científicas.

Cada línea en el espectro atómico es determinada por su frecuencia  $\nu$  y por su intensidad. Esta última es relacionado con otra cantidad física notable<sup>23</sup> denominada momento de la transición. La transición espectral entre dos estados estacionarios  $n$  y  $m$  es por consiguiente determinado por el  $\nu_{n,m}$  de frecuencia— y por el  $x_{n,m}$  de momento de transición—. Heisenberg propuso un modelo matemático en el que se presentaban las cantidades físicas por juegos que contenían el  $x_{n,m}$  de momentos de transición—,  $m$  —además del tiempo—, dependiente de las condiciones de frecuencia.

Existe una anécdota interesante y divertida relacionada con el descubrimiento de Mecánica Matricial, expuesta por Hameka (2004:13). Cuando Heisenberg mostró su obra a Born, éste dijo no saber nada sobre matrices pues no se acordó que había aprendido un poco de álgebra lineal cuando era estudiante. Recurrieron a Hilbert para obtener la ayuda. Durante la reunión, Hilbert mencionó, entre otras cosas, que las matrices juegan un papel importante en la solución de ecuaciones diferenciales en condiciones límite. Estas condiciones especiales fueron las que usó Schrödinger para demostrar la equivalencia de la mecánica matricial y la formulación diferencial. Después Hilbert dijo a algunos de sus amigos entre risas que Born y Heisenberg podían haber descubierto la ecuación de Schrödinger antes si hubieran puesto más atención a lo que les estaba diciendo. Si esto es verdadero o no, es una buena anécdota. Para la mayoría de los estudiosos de la mecánica cuántica, la ecuación de Schrödinger es más accesible que la mecánica de matrices<sup>24</sup>.

La idea motivadora para Schrödinger en la búsqueda de una ecuación había sido que cada una de las partículas era en realidad una onda, y que ésta determinaría las características físicas de dicha onda. Se considera al átomo como un sistema de vibraciones, en lugar de un sistema mecánico. Sin embargo, en la ecuación encontrada, los dispositivos representativos estaban lejos de satisfacer las condiciones de las ondas físicas y en este punto solo quedaban dos caminos “o rechazar la nueva ecuación y

---

<sup>23</sup> La denominación cantidad notable hace referencia a las cantidades físicas que pueden ser medidas con instrumentos.

<sup>24</sup> Pareciera que el factor psicológico influyera de manera primordial sobre la racionalidad de los agentes.

seguir buscando un modo de describir las supuestas ondas de la materia, o abandonar su plan originario de describir ondas materiales y desarrollar una teoría de la materia basada en la nueva ecuación” (Hameka 2004:15). Sobre el significado de  $\Psi$ , Schrödinger decía que se podría caer en la tentación de asociar la función  $\Psi$  con un proceso vibratorio en el átomo, probablemente más real que las órbitas electrónicas, cuya realidad se cuestiona cada vez más. “[...] He preferido presentarla — la nueva formulación— en términos puramente matemáticos, que permite destacar lo que, en mi opinión, es el punto esencial: el hecho de que la misteriosa “exigencia de valores enteros” ya no requiere ninguna regla de cuantización, sino que resulta de las condiciones de finitud y univalencia de una cierta función [...]. Parece innecesario señalar cuánto más gratificante resulta concebir una transición cuántica como un cambio energético de un estado vibratorio a otro, que considerarla como un “salto” de electrones [...]”. (Bombal 2002)

Schrödinger esperaba que, además de predecir correctamente los resultados del experimento, una teoría física debería proveer una imagen espacio-temporal de los sistemas físicos que conllevaban a resultados experimentales, y que el propósito de las leyes matemáticas de la teoría era explicar el comportamiento de estos sistemas en el espacio y en el tiempo. La primera etapa de su trabajo se centró en buscar un modelo de los microsistemas subyacentes a los fenómenos atómicos y moleculares. De acuerdo a las formulaciones estudiadas, las perspectivas de Schrödinger estarían más acorde con las propuestas de Hacking, para quien las propuestas estarían más en el marco de la práctica científica. Frente a la apuesta de modelos productores, esperaría que no solo tuviera un valor epistémico sino que los medios representacionales estuvieran en el marco pluralista en el sentido de buscar una mayor amplitud a sus modelos.

Buscó una descripción más detallada de tal modelo y la formulación de una ecuación matemática que gobernara su comportamiento. La ecuación planteada no proporcionaba una descripción directa de los sistemas subyacentes como había esperado<sup>25</sup>. Su búsqueda fue exitosa en el sentido de que la ecuación era propicia para salvar los fenómenos. En la segunda etapa de su labor sobre la mecánica ondulatoria trató de desarrollar una teoría basada en la ecuación de onda, ideando nuevas maneras de aplicarla o formularla dependiente del tiempo y, procurando hallar un nuevo modo de

---

<sup>25</sup> Lo que cuenta a favor no es tanto lo que pueda explicar, sino lo que es capaz de hacer con ellos.

vincular sus ecuaciones formales con un modelo de los microsistemas. Sin embargo, esta búsqueda de modelos espacio-temporales no consiguió dar con los frutos esperados, pues “átomos, electrones, luz y energía radiante fueran susceptibles de una descripción uniforme, conceptualmente paradójica, pero de una limpieza sin mácula desde el punto de vista matemático” (Arana 2000:18). La mayor parte de los símbolos de la teoría están identificados con conceptos espacio-temporales y la elección de las ecuaciones mecánico-cuánticas adecuadas para la aplicación a un fenómeno macroscópico depende del empleo de uno o más modelos espacio-temporales de los microprocesos subyacentes. Como la ecuación funcionaba, la tarea era proporcionar una imagen física más completa, en la que fuera explícita la conexión entre la teoría y el movimiento de las ondas materiales y, esto lo consiguió con la articulación de la mecánica de matrices y la ondulatoria.

A pesar de su rechazo del formalismo de la mecánica de matrices, Schrödinger también estaba convencido de que ambos modelos se complementaban mutuamente. Y así, en la primavera de 1926, descubrió lo que llamo “una identidad matemática formal” entre la mecánica ondulatoria y la mecánica de matrices. Desde un planteamiento estrictamente formal, Schrödinger probó que la mecánica ondulatoria implicaba los aspectos básicos de la mecánica de matrices en los casos simples de espectro discreto. Estas ideas fueron marcando el derrotero hacia la teoría de transformaciones de Dirac y Jordan primero, y luego la posterior unificación de Von Neumann. Al mismo tiempo, sirvieron para decantar el desarrollo conceptual moderno de la Mecánica cuántica.

¿Por qué tanto empeño en elaborar descripciones espacio-temporales de los sistemas? “Una respuesta probable y tal vez generalmente aceptada es que era un realista científico, de los que creen que la tarea de la ciencia es describir la fábrica real del mundo” (Arana 2000:17). Como lo expresa él mismo, “las observaciones, y los resultados de las mediciones particulares, son la respuesta de la naturaleza a nuestra indagación. Así, de manera esencial, no solo sean una ocasión del objeto, sino, antes bien una ocasión de la relación intercambiante sujeto-objeto” (Schrödinger 1975:37). Un modelo matemático más realista es la asociación de movimiento de la partícula con la superposición de un número infinito de ondas planas. En este acercamiento, el movimiento de una partícula libre puede representarse por un paquete de ondas. Esto explica la relación entre la partícula y movimiento de la onda de manera lógica y consistente.

Frente al debate del realismo, Schrödinger (1975, no niega la existencia de una realidad independiente, solo brinda restricciones sobre aquello que puede considerarse real. La ‘realidad’ no debería ser un concepto presupuesto o un prejuicio utilizado para observar y relacionar datos empíricos, sino más bien un concepto a desarrollar y transformar. La mecánica cuántica es un modelo matemático, una interpretación de la realidad, pero no la realidad misma. Un modelo solo puede dar cuenta sobre la naturaleza de realidad si se asume que representa la parte seleccionada o aspecto del mundo que se investiga. Es evidente que los modelos científicos son una abstracción mental, una interpretación de la naturaleza. Dotados generalmente de una estructura lógico-matemática, se utilizan para poder explicar algunos fenómenos relacionados y para reconstruir por aproximación los rasgos del objeto considerado en la investigación. El modelo será mejor cuanto más se aproxime al comportamiento real del objeto. No es imprescindible que esas interpretaciones sean ciertas, sino que sea útil y eficaz para el fin que se persigue. Por ejemplo, no importa demasiado saber si los electrones se mueven en orbitales alrededor del núcleo, sino su comportamiento, como si lo hiciera.

Lejos de las pretensiones de este trabajo estarían las controversias entre las interpretaciones de Copenhague y la causal que ha condicionado el desarrollo experimental y teórico de la mecánica cuántica. Es importante señalar que solo unos pocos aspectos no son fundamentales en la solución de las controversias y los debates. La comunidad científica propone alternativas para ayudar a esclarecerlas, así el experimento EPR, las variables ocultas y la desigualdad de Bell se constituyen en pilares fundamentales que conllevan a problemas relevantes como las probabilidades en la medición, el principio de localidad, entre otros. Frente a los principios tanto de superposición lineal de estados, y de incertidumbre —dualidad onda-partícula— que conforman la mecánica cuántica —la mecánica ondulatoria (formulación de Schrödinger) y la mecánica matricial (formulación de Heisenberg) —. El principio de superposición de estados implica, entre otras cosas, la posibilidad de la coexistencia simultánea de distintos estados —algún notable— para un mismo sistema, como lo expresa la famosa paradoja del gato de Schrödinger (1935). El principio de incertidumbre presupone la idea de que existe una imposibilidad intrínseca del mundo microscópico para la realización simultánea de determinadas mediciones y que esta imposibilidad no es resultado de una limitación de los dispositivos de medida o de la falta de información sobre variables del sistema.

La dualidad onda-partícula —directamente conectada al principio de incertidumbre— implica aceptar que los objetos cuánticos evidencian a veces propiedades de partículas clásicas y, en otras situaciones, características de ondas, pero que en ningún caso pueden identificarse con unas o con otras. Como ha sido indicado, de estos principios resulta que la mecánica cuántica es una teoría inherentemente probabilística; el resultado de cada medida no puede ser previsto con la precisión deseada. Si es conocido el estado inicial del sistema, la mecánica cuántica ofrece apenas predicciones probabilísticas. Frente a la naturaleza de esas probabilidades, la función de onda —vector de estado— contiene toda la información acerca del estado de un sistema, y además las densidades de probabilidades presentan términos de interferencia, resultantes del módulo al cuadrado de la suma de las amplitudes.

A manera de resumen se presenta un cuadro donde se compara los métodos, ingredientes y dispositivos representativos que hacen que una propuesta se imponga frente a la otra.

	Schrödinger	Heisenberg
Formulación Matemática	Diferencial	Matricial
Modelos	Espacio-temporales	Probabilísticas
Símbolos de la teoría	Ondas piloto	Cantidades dinámicas
Dispositivos representativos	Función de onda	cantidades físicas notables
Enfoque	Estados	Operacional

La interpretación de Schrödinger de los fenómenos atómicos a través de “paquetes de onda” concebía a los fenómenos observados —cuantización, existencia de niveles discretos de energía— con relación a frecuencias y fenómenos de interferencia, sin postular los “saltos cuánticos” y aportando elementos a las concepciones más clásicas de una realidad continúa.

La interpretación del formalismo dada por Heisenberg y Böhr exigía un cambio radical en las concepciones habitualmente aceptadas de la realidad física. El formalismo de la Mecánica de matrices de Heisenberg no permitía las descripciones usuales espacio-temporales ni las conexiones causales de los fenómenos físicos. Pero, las descripciones y nociones intuitivas de la Física clásica se habían aplicado indiscriminadamente a la Mecánica cuántica. Esta disparidad entre el formalismo y las concepciones intuitivas tenían forzosamente que originar serias dificultades. Las concepciones de la Física están ligadas a las descripciones espacio-temporales. Heisenberg lo sabía y propuso otra alternativa para salvar estas dificultades, formulando el Principio de incertidumbre con el fin de mantener las nociones clásicas intuitivas, pero restringiendo su aplicabilidad.

La Mecánica de Matrices y la Mecánica Ondulatoria buscan la explicación del mismo tipo de fenómenos y obtienen resultados análogos. Ambas son radicalmente diferentes tanto en su formalismo matemático como en su interpretación física, pues Heisenberg utilizó un enfoque algebraico postulando la existencia de operaciones no conmutativas y reglas de cálculo novedosas frente a las conocidas en el formalismo matemático de la época. Físicamente, su concepción básica es el corpúsculo y enfatiza en la discontinuidad en el microcosmos. Por el contrario, Schrödinger utilizó un enfoque analítico, utilizando las técnicas usuales de ecuaciones diferenciales de la mecánica clásica de fluidos. Físicamente, su concepción básica es la onda y la continuidad en el mundo subatómico.

Ambos formalismos matemáticos parten de la física clásica — ya sea de la dinámica newtoniana o de la mecánica de fluidos—, planteando en algún momento el cálculo una hipótesis innovadora. Posiblemente esta puede ser el origen de la discordia: el querer expresar conceptos clásicos como “posición”, “trayectoria” “velocidad” o “paquete de ondas” en términos del nuevo formalismo. Heisenberg, dispuesto a respaldar la potencia del formalismo matemático, defendía la posibilidad de realizar experimentos que sirvieran de test directo de las predicciones de la teoría, como lo sostenía Einstein: “la teoría es la que decide lo que podemos observar”. Si la teoría rechaza la observación de la trayectoria de una partícula, y esta aparece en la cámara de Wilson como una sucesión discreta de puntos borrosos, la conclusión, según Heisenberg, es que “carece de sentido hablar de la posición de una partícula con una velocidad definida”. Lo que llevó a Heisenberg a enunciar su principio de incertidumbre fue esta línea de pensamiento, junto a su convencimiento de que el formalismo matemático es lo que

permite establecer y predecir nuevos resultados. El uso de palabras como “ondas” o “partículas” para la descripción de lo que realmente sucede es irrelevante. Böhr aceptó las conclusiones de Heisenberg, pero no su interpretación, señalando que la causa última del principio de incertidumbre residía en la dualidad onda-partícula y en la imposibilidad de usar ambas descripciones simultáneamente, a pesar de que las dos son necesarias para obtener una descripción completa del fenómeno físico.

En primera instancia se podría pensar que la tradición matemática juega un papel importante en las controversias pero, es importante analizar los medios representacionales y su comunicación, pues estos se constituyen en factores determinantes de la actividad científica. Si se toma el caso de la clasificación de los elementos químicos, Mendeliev utilizó un sistema periódico para clasificar todos los elementos según el orden de progresión del peso atómico. Estudiar los elementos con propiedades bien definidas, que podrán servir como modelo como “patrones” para ordenar el resto., lo consiguió no buscando semejanzas y diferencias sino contrastes y discrepancias entre los elementos; propuso la tabla periódica y no una espiral, pues la discontinuidad en los valores del peso atómico no permitía una estructura continua que permitiera ofrecer el máximo de información y de claridad con un número mínimo de postulados. ¿Qué ventajas ofrecía la tabla frente a la espira? La elección de una tabla como medio representacional permite dilucidar una forma sencilla de comunicar los resultados de las investigaciones. Una de las tareas era sistematizar y organizar los conocimientos acerca de los elementos que se encontraban dispersos hacia 1879, y la tabla periódica permitió no solo esto sino también constituir el concepto de elemento como organizador. Todos los elementos, con raras excepciones, se sucedían uno al otro en líneas horizontales y seguían el orden creciente de sus pesos atómicos. Los elementos semejantes quedaban encuadrados en varias columnas verticales. El permitir dejar espacios en blanco, permitió predecir la existencia de muchos otros que no habían sido descubiertos. Este medio de representación permite el auge de una química centrada en los elementos.

La estructura de la molécula de ADN fue logrado por cuatro científicos: Maurice Wilkins, James Watson y Francis Crick, y Rosalind Franklin. El modelo propuesto por estos científicos semeja una escalera de caracol que recibe el nombre de ‘doble hélice’. Esta escalera está compuesta por peldaños compuestos por cuatro piezas — adenina, guanina, timina y citosina—, que se integran por pares atendiendo a las siguientes

reglas: Adenina (A) siempre forma un par con timina (T), Guanina (G) siempre debe unirse con citosina (C). A diferencia de una espiral, una hélice no se va ampliando a partir del punto de origen, sino que se alarga siempre de manera monótona con el mismo diámetro. Ellos prefirieron esta forma de representación, la hélice alfa que había sido propuesta por Pauling en 1951, pues permite la relación entre dos objetos asimétricos pero equivalentes en el espacio. Si se repite esta operación, se obtiene una gran cantidad de objetos equivalentes que forman una hélice.

Estos dos medios representacionales nos pueden dar un ejemplo de cómo frente a situaciones propuestas uno resulta favorable frente al otro de acuerdo a lo que se quiera comunicar. La búsqueda de conexiones coherentes de los modelos entre el modo en que podrían funcionar y cómo podrían ser las cosas están mediadas por la intencionalidad del agente pues hay varias formas de aproximarse y finalmente quién decide es el investigador de acuerdo a sus pretensiones.

Actualmente los científicos han estado de acuerdo en que la comunicación de los resultados de las investigaciones se den a través de eventos —congresos, encuentros, foros, etc. —, artículos en revistas especializadas y en libros. La comunicación científica es el juego mutuo mediante el cual se logran evidencias, se pone en duda, se logra nuevas comprobaciones y se pone en evidencias formas de representación, ya sea través de los diversos medios representacionales o las inferencias que se hagan de los modelos, sin desconocer el juego económico que subyace en las comunidades científicas con los desarrollos científicos y tecnológicos. Un ejemplo de esto sucedió a los finales de los años cuarenta cuando el esfuerzo de los físicos teóricos, especialmente de Freeman Dyson, Richard Feynman, Julián Schwinger y Sinitiro Tomonaga, hicieron ver los frutos de su trabajo. En ese entonces se hizo su presentación en la sociedad científica un ejemplo práctico de una teoría relativista del campo cuántico «renormalizada» que expresaba las interacciones de dos partículas cuánticas, el electrón y el fotón: se denominó electrodinámica cuántica. Los teóricos centraron sus esfuerzos en ésta no solo porque había datos experimentales desconcertantes de las interacciones de fotones y electrones que exigían explicación, sino porque fotones y electrones, eran por sí solos, bastante en proximidad un pequeño subsistema de todas las partículas cuánticas. En consecuencia, podían ignorarse sus interacciones con otras partículas cuánticas, lográndose así una gran simplificación. Si el procedimiento de renormalización tenía alguna validez, debería demostrarse en este caso. Esto no solo lleva

a considerar la conveniencia de adecuación de un modelo sino de su comunicación a la comunidad científica.

Los modelos no pueden reducirse solamente a la designación de sistemas externos, donde su valor epistémico está dado por la cognición, sino que debe darse un giro considerándolos desde su productividad, donde su valor epistémico están en la laboriosidad y la experimentación, que permiten abordar sus métodos y dispositivos representacionales.

## **1.6 Recapitulación**

Las dos tradiciones en Filosofía de la Ciencia que se abordan este capítulo plantean que las relaciones de los modelos con la realidad pueden ser isomórficos, de similitud, de analogía, de inferencia causal que pretenden concebir los modelos como mediadores entre la teoría y el mundo, lo cual conlleva necesariamente a algún tipo de representación. En este trabajo se ha mostrado la intención de los diferentes autores de abordar las representaciones científicas no a través de los análisis de las relaciones, que buscan rendimientos epistemológicos de cada una de sus propuestas, sino en la búsqueda de un ejemplo que permitiera dar razón de los medios representacionales, de información y la manera de comunicación lleva necesariamente a la intencionalidad del agente como principal responsable del éxito de la representación.

¿Cuál es el modelo adecuado? Frente a esta pregunta no hay una respuesta clara, pues también hay discrepancias entre los filósofos que plantean que dependen del ajuste con la realidad que solo ofrece algunos aspectos del fenómeno, pues nunca un modelo sirve de manera óptima para todos los fenómenos, solo aquellas hipótesis verdaderas acerca de aspectos observables del mundo o de la negociación de los agentes que dan cuenta de su carácter representacional. En física podemos encontrar referencias a modelos como el modelo estándar, el estelar estándar, el del Big Bang. El primero fue propuesto en el Congreso de Tokio en 1978 y clasifica todas las subpartículas del universo en tres familias, cada una de las cuales consta de un par de leptones y un par de quarks. El segundo, proporciona una relación simple entre la masa, el radio y la luminosidad de una estrella, y fue propuesto por Sir Eddington en 1926. El tercero, sobre el cual giran las investigaciones de los premios Nobel de 2006. La teoría de un Universo que se expande fue propuesta primero por Friedmann (1922) y Lemaître (1927). Un gran

trabajo alrededor de este modelo es dada por Steven Weinberg laureado al Nobel en 1979.

Alrededor de 1960 se discutían dos modelos para el Universo. ¿Estaba el universo expandiéndose según el modelo del Big Bang, o estaba en un estado estacionario? Ambos modelos tenían sus partidarios y entre los científicos que defienden el último era Hannes Alfvén, premio de Nobel en físicas 1970, Fred Hoyle y Dennis Sciama. Si el modelo del Big Bang fuera el correcto, la radiación del universo primitivo todavía debe existir, y varios grupos estaban buscándolo. Esta radiación debe ser térmica e isotrópica, por ejemplo, en forma de radiación de cuerpo negro.

El descubrimiento de microondas provenientes del fondo del cósmico por Penzias y Wilson en 1964, premio de Nobel en física 1978, se constituyó en una completa sorpresa mientras intentaban entender la inesperada fuente de ruido en su radio-receptor. Unos 16 años atrás, Gamow (1946) y Herman-Alpher 1 (1949) habían predicho un campo de radiación que penetra el Universo. Tolman había mostrado en 1934 que la radiación del fondo cósmico en un Universo que se expande es parecida a la de un cuerpo negro. Sin embargo, en 1964 Doroshkevich y Novikov publicaron un artículo donde se mostraba una búsqueda explícita para la radiación que se enfoca en las características de un cuerpo negro. En 1964, el descubrimiento de la radiación de microondas del fondo cósmico era contundente, lo que permitió la aceptación del modelo del Big Bang pero no todos los defensores del modelo estático se rindieron.

La historia de la Física nos muestra un amplio abanico de ejemplos que permite dilucidar las problemáticas sobre qué son los modelos científicos y cómo estos nos dan cuenta del conocimiento, pues son entidades que se materializan en los medios comunicacionales. La pretensión de este trabajo consiste en mostrar que es posible tener modelos diferentes para el mismo dominio de fenómenos, pero es importante analizar aspectos, entre las controversias que se generan, como los métodos comunicacionales y los medios representativos que afirmar que el modelo representa, refleja o simula la realidad. Un medio representacional puede ser un sistema de formas simbólicas —el lenguaje natural o el lenguaje lógico de programación—, las matemáticas y la geometría, las imágenes, diagramas, planos, códigos, instrumentos, artefactos, dejando de lado como único medio de representación el lingüístico, que es el permitido por excelencia en la concepción semántica.

La concepción de modelos como mediadores indica que los medios representacionales son tan variados, que no suponen un medio universal. La obtención de la información es tan compleja que en ocasiones se requiere de varios medios representacionales. Por eso el acercamiento que se da en la concepción pragmática de los modelos está orientado hacia una zona de acercamiento entre la realidad y las leyes de la naturaleza a través de los modelos, lo que permite actuar recíprocamente con el mundo, más que representarlo.

La representación puede aproximarse a los dos maneras presentadas en esta investigación ya sea considerándolo a través de las relaciones o de la construcción y uso de los modelos. Los análisis filosóficos de esta tesis están centrados la construcción y el uso de los modelos, desde esta perspectiva el capítulo siguiente busca dar un panorama general de lo que son los modelos científicos y su papel ya sea en la relación de representación o en construcción, conciliando en algunas propuestas las dos tradiciones: analítica y pragmática, como lo plantea Suárez (2010). Una temática que resulta ser común a estas dos tradiciones es el intento por comprender el uso de los modelos. Existe el presupuesto de que para apreciar plenamente su papel es necesario reconocer su uso concreto. De esta manera, se hace necesario comprender las relaciones entre las entidades que llevan a cabo el proceso de representación —ecuaciones, simulaciones, etc. — y sus objetivos, además de tener en cuenta las incidencias de los que usan y desarrollan las representaciones.

Muchos problemas diferentes se hacen visibles cuando se adopta una posición conciliadora como esta. De un lado, se posibilita la transferencia de conocimientos y de técnicas de representación de un campo a otro. Así, una fuente puede ser utilizada para representar varios objetivos en campos diferentes. De esta manera, cuando se dice que un modelo  $X$  — un gráfico, una ecuación, un diagrama, etc. — representa un sistema  $Y$  —un objeto físico, un fenómeno, una población, etc. —, se puede preguntar desde una postura analítica ¿cuál es la relación  $R$  entre  $X$  e  $Y$ ? Cuando se pregunta acerca del uso específico de un modelo, es necesario indagar el tipo de características y propiedades en el contexto de aplicación que les posibilita realizar su trabajo. En otras palabras, ¿cuáles son los medios eficaces que los científicos emplean para obtener representaciones? Referido esto a la tradición pragmática.

## CAPÍTULO II

# EL PAPEL DE LOS MODELOS EN LA PRÁCTICA CIENTÍFICA

### INTRODUCCIÓN

Dos décadas de discusión en torno a la relevancia dada a los modelos como base para la investigación y la construcción del conocimiento científico ha permitido abrir una ventana en un espacio oscurecido por la prevalecía dada a las teorías, en sus importantes aproximaciones en el siglo XX. Este cambio de enfoque se debió principalmente a la gran atención que le han dado los filósofos a cómo se practica la ciencia, en las múltiples disciplinas en las que los científicos indagan.

A partir de esta sensibilización, hay una motivación para buscar nuevas miradas sobre la ciencia, que sean menos dependientes de la epistemología de la Física teórica y más fieles a las prácticas reales tanto de la Física como de todas las ciencias. El propósito de este capítulo es hacer una descripción de las diferentes alternativas y posturas sobre los modelos, sus funciones y usos más frecuentes, enraizados en la combinación del trabajo conceptual y material que los científicos hacen. Todo esto con el fin de encontrar una relación que puede ser de tipo representacional, idealizada o de razonamiento sustitutivo, que posibilite tomar postura acerca de las condiciones que sea más adecuadas para abordar esta investigación.

La sección 2.1 “Concepciones acerca de los modelos” busca hacer un panorama de las principales concepciones de los modelos. Estos pueden hacer referencia a diferentes cosas —objetos no físicos, mapas, aspectos del mundo, experimentos, objetos, construcciones sociales, entre otros— que pretenden dar una interpretación a diferentes aspectos sin necesidad de estar en una correspondencia con la realidad. Esta diversidad de modelos en la ciencia posibilita buscar maneras de categorizarla con el fin de lograr un acercamiento a su naturaleza.

En la sección 2.2 “Funciones de los modelos” se busca, al interior de la práctica científica, comprender las condiciones que hacen que los modelos puedan representar,

idealizar y razonar surrogativamente. Las funciones no se expresan en términos de las propiedades del modelo y su objetivo, que es la pretensión de la concepción semántica, sino más bien en los procesos, que sirven de base para diversas inferencias de acuerdo con la actividad intencional de los científicos. El papel asignado al agente es el de un ser que construye sus explicaciones bajo principios racionales, dichas explicaciones están estructuradas en modelos, que son válidos para las comunidades científicas.

Un tema que une a los filósofos es lo que respecta a los modelos como candidatos para la representación. Los modelos son considerados modelos de algo y, a menudo, en términos de algunos objetos reales, procesos o "fenómenos" naturales; sin embargo, se les quiere otorgar otras funciones en las idealizaciones y en el razonamiento surrogativo con el fin de acercarse a un punto de vista pragmático que permite enlazarlos a su construcción y usos.

## **2.1 Concepciones acerca de los modelos**

Los contextos de investigación desarrollados en Filosofía de la Ciencia brindan diferentes interpretaciones de los modelos. De esta manera, no es posible realizar un juego imaginativo de las funciones de los modelos, sino está ligado a las actividades. Por un lado, se supone que los modelos se constituyen en una fuente de conocimientos sobre el mundo, lo que permite "aprender de los modelos", pero la tesis defendida es que el principal uso es ayudar a sacar conclusiones del sistema que representan. De esta manera, la concepción que se asume es la inferencialista.

### ***2.1.1 Concepción Semántica***

Hay una serie de variantes de la concepción semántica, pero la mayoría de los teóricos que la defienden aceptan la formulación de Suppe (1974): "las teorías son entidades extralingüísticas que pueden ser descritas por sus formulaciones lingüísticas. Las proposiciones en la formulación de una teoría son las que proporcionan las descripciones de verdad de la teoría y, por lo tanto, la teoría se toma como un modelo para cada una de sus formulaciones". Esto sugiere que las técnicas de la concepción semántica de las teorías como modelos son útiles en el análisis de la estructura de las

teorías científicas. Esta ganancia en la verdad descriptiva<sup>26</sup> permite indicar que cuando obtiene una teoría científica es porque es posible especificar un modelo (Suppe 1974).

La concepción semántica se denomina así por dos razones. En primer lugar, afirma que las teorías son en general entidades semánticas en lugar de entidades sintácticas; es decir, la naturaleza, función y estructura de las teorías se comprende mejor cuando su caracterización, análisis o reconstrucción metateórica se centra en los modelos que determina, no en un particular recursos lingüístico que definen las teorías mediante reglas axiomáticas. En segundo lugar, más concretamente, propone que el cuerpo de conocimiento de la semántica formal y la teoría de modelos pueden contribuir a aclarar dudas sobre la naturaleza de las teorías y los modelos científicos<sup>27</sup>. Una teoría consiste en un conjunto de modelos, en el sentido técnico de estructuras que satisfacen ciertas condiciones de definición y los sistemas empíricos, es decir, sus aplicaciones intencionales. Un modelo, en su acepción informal mínima, es un sistema o "trozo de la

---

<sup>26</sup> Se pueden identificar en el campo filosófico tres sentidos del término "verdad". Primero, "verdad" en el sentido descriptivo, la cual no hay que confundir con la certeza, ni con los procedimientos de comprobación. En este caso, la mente se adecua a la realidad. Esta verdad descriptiva se puede relacionar con la condición diádica de los modelos, pues estos definen el ámbito en el cual una teoría es válida.

El segundo sentido del término "verdad" es el estipulativo. En este caso, la realidad se adecua a la mente. Esta define lo "verdadero". Más precisamente, ésta puede ser un sujeto o una comunidad de sujetos que han llegado a un consenso.

El tercer sentido del término "verdad" es el pragmático. En este caso, la "verdad" se define según el contexto práctico y según una transacción entre la mente y la realidad de los individuos. Se pueden distinguir dos sentidos de la verdad pragmática: a) El sentido pragmatista, en virtud del cual la verdad se establece según la utilidad para la predicción, mediante el recurso del poner a prueba. Útil es lo que sirve para organizar el modo de pensar, el mundo de ideas o aquello que estructura un esquema que sirve de pauta rectora a la conducta b) El sentido operacionalista, en virtud del cual los términos teóricos son definidos mediante un procedimiento de operaciones de medición: temperatura, tiempo, entre otros. Por ejemplo, si decimos que la temperatura del agua es de 30° C, esto depende del sistema de medición escogido, pero también hay intersección causal con la realidad.

<sup>27</sup> Los científicos se refieren a los modelos de manera heterogénea. Por ejemplo, el uso del modelo semántico es referido en términos de uno matemático asociado al utilizado por los lógicos y matemáticos. El uso de estos términos, que se constituyen en el núcleo de la concepción semántica, puede ser presentado mediante las dos siguientes proposiciones:

SM: Es la clase de modelos científicos que pertenecen a un subconjunto propio de la clase semántica. En particular, el conjunto de modelos científicos de una teoría científica es solo el conjunto de estos destinados para la formulación de esta teoría.

ST: Una teoría científica es solo la clase de modelos destinados a ser equivalentes a las formulaciones de esta teoría. La primera proposición dice que los modelos científicos son semánticos, mientras que la segunda proposición afirma que las teorías científicas son colecciones de modelos semánticos.

realidad" constituido por entidades de diverso tipo que ejecuta una serie de afirmaciones, en el sentido de que en dicho sistema "pasa lo que las afirmaciones dicen" o más precisamente las afirmaciones son verdaderas en dicho sistema.

Lo que hace la teoría es definir los modelos con la pretensión de que representan adecuadamente los fenómenos, y de que los sistemas que constituyen los fenómenos de que queremos dar cuenta están entre los modelos de la teoría; en términos tradicionales, que tales fenómenos concretos satisfacen las leyes de la teoría, que se comportan como las leyes dicen. Van Fraassen (1989) expresa:

De acuerdo con la concepción semántica, presentar una teoría es presentar una familia de modelos. Esta familia puede ser descrita de varios modos, mediante enunciados diferentes en lenguajes diferentes, y ninguna formulación lingüística tiene ningún estatuto privilegiado. Específicamente, no se atribuye ninguna importancia a la axiomatización como tal, e incluso la teoría puede no ser axiomatizable en ningún sentido no trivial.

Los defensores de la concepción semántica han propuesto dos alternativas que permiten comprender lo que es un modelo semántico. El primero se denomina el enfoque formal y el segundo, el enfoque de espacios de estado. El enfoque formal, desarrollado principalmente por Suppes (1960), toma los modelos científicos literalmente desde la definición semántica, que habitualmente se especifican dentro de los cánones de la lógica de predicados. Desde este punto de vista, un modelo se define como la interpretación de un conjunto de enunciados de la lógica de predicados en las que todas las entidades de este conjunto son verdaderas. Una interpretación que, a su vez, se entiende como una función de símbolos no lógicos de la lengua dentro de los cuales los individuos o grupos de individuos tienen un dominio dado. Si consideramos la imagen de esta función, tenemos una estructura teórica que satisface el conjunto de declaraciones.

Los modelos son caracterizados como entidades modelo-teóricas, clases de estructuras teóricas de conjuntos. Para describir estas entidades se introduce un aparato técnico específico, y se hace uso de una axiomatización basada en la teoría intuitiva de

conjuntos. Si un sistema real o abstracto cumple o satisface los axiomas de la definición de un predicado conjuntista, es un modelo de la teoría propuesta.

De acuerdo con el enfoque de espacios de estado, un sistema físico puede caracterizarse por un conjunto de variables de estado. Estas miden los valores de las distintas magnitudes físicas. El conjunto de estados lógicamente posibles del sistema se puede identificar con el grupo de todas las combinaciones probables de valores de cada una de las variables, y estas a su vez, son tratadas como vectores en el espacio de estados. El comportamiento dinámico de un sistema de modelado puede ser caracterizado en términos de la trayectoria del sistema a través de este espacio vectorial en el tiempo. Físicamente, los posibles cambios en el estado de un sistema puede ser caracterizados por leyes de sucesión, mientras sean físicamente posible combinaciones de valores de variables de estado que se caracterizan por reglas de la correspondencia (Suppe 1989)<sup>28</sup>.

La representación de los modelos en el espacio de estados es potente y flexible, y es difícil imaginar que los científicos piensen en algún modelo que no pueda ser representado de esta manera. De hecho, este tipo de formato de representación es tomado de la física y ha sido utilizado por los científicos de otras disciplinas, como el caso de Lewontin (2004)<sup>29</sup>. Esto sugiere que la versión de espacios de estado de la concepción semántica proporciona el comienzo de una teoría adecuada de los modelos científicos.

Van Fraassen (1996) denomina a la colección de entidades matemáticas —números, vectores, funciones, etc. —como un espacio de estados — espacio de configuración y espacio de fase— de los sistemas físicos que permiten representar el conjunto de estados posibles. En Física se asume que un sistema físico puede tener ciertas condiciones, es decir, el estado en que un sistema se especifica es uno entre los

---

<sup>28</sup> Para Suppe (1974,) las reglas de correspondencia no se pueden concebir como definiciones de los términos teóricos. Su misión principal es especificar los procedimientos experimentales mediante los cuales la teoría se aplica a un conjunto de fenómenos, así como el tipo de relación o correspondencia que se da entre la teoría y los fenómenos observables. Incluso en esta versión, las reglas de correspondencia no representan adecuadamente las relaciones entre la teoría y los fenómenos ni sus aplicaciones.

<sup>29</sup> Lewontin (2008) aplica el concepto de espacios de estado a los modelos de sucesión generacional en las poblaciones que se reproducen sexualmente. Esta sucesión se da necesariamente en un ir y venir entre los espacios génico y genotípico. Se muestra que las transiciones entre y dentro de estos espacios se encuentran ocultas por los supuestos que se hacen acerca de los procesos en estos espacios.

conjuntos posibles. Estos se representan por elementos de un espacio matemático, un espacio de estados. De tal modo que, al definir una clase de sistemas físicos, se debe especificar primero todo el conjunto de estados que pueden tener los sistemas a través de la colección de entidades. Cada modelo matemático especifica unas variables que representan magnitudes físicas —observables— diferentes referidas al sistema físico, que pueden tomar ciertos valores, es decir, cuantificables. De esta manera, las magnitudes físicas permiten caracterizar el estado de un sistema en un instante determinado, lo que equivale, desde el punto de vista clásico, a una particular configuración de las variables del estado del sistema. Así, la colección de todas las configuraciones posibles de las variables correspondería al espacio de estados.

### ***2.1.2 Concepción Funcionalista***

Cartwright, Morrison y Morgan consideran que la función primordial de los modelos es representacional<sup>30</sup>, pero sostienen que no están sujetos a las pretensiones de verdad. Como lo expresan Morgan y Morrison (1998), la legitimidad de estos se mide por su desempeño, por ejemplo, "en la ingeniería experimental y otros tipos de contextos intervencionista, más que por su proximidad a la verdad". Se refieren a los diferentes tipos de modelos y la amplia gama de funciones —incluyendo su papel como instrumentos materiales, como el caso de las lentes —, pero su foco principal, como el de Cartwright, es la dinámica de los modelos, especialmente los que participan en la construcción de mejores teorías. Consideran que "así como usamos herramientas como

---

<sup>30</sup> La representación entra en escena cuando Morrison y Morgan intentan dar cuenta de cómo se puede aprender de los modelos. Ellas afirman que el aprendizaje de los modelos depende de la representación: "podemos aprender de los modelos debido a que representan". Así, incluso en su postura, el valor epistémico de los modelos está atado a la representación. Sin embargo, Morrison y Morgan no conciben la representación de una manera tradicional como "reflejo" o como una correspondencia. Para ellas, la representación es "una especie de representación —una representación parcial— de la naturaleza real del sistema o de una teoría" (1999). A pesar de tener una intención diferente, se manifiesta lo difícil que es deshacerse de las ideas de representación, pues se afirma que el conocimiento consiste en representaciones que representan —más o menos— con precisión las entidades y procesos independientemente del mundo externo existente.

El enfoque de Morgan y Morrison realmente tiene el potencial de liberar el valor epistémico de los modelos de su contenido representativo debido a su énfasis en los modelos como entidades independientes. La concepción de los modelos como entidades independientes es una medida más radical de lo que parece a primera vista. Ha sido habitual hasta ahora plantear los modelos como abstracciones, idealizaciones o réplicas teóricas de algo externo a ellos mismos como lo propone el punto de vista semántico de los modelos: la estructura "subyacente" abstracta la que importa.

instrumentos para construir cosas, usamos los modelos como instrumentos para construir teorías".

La metáfora del instrumento cumple una función indispensable en este argumento, ya que al mismo tiempo refleja y promueve un punto de vista de los modelos como mediadores entre dos dominios contrapuestos —el dominio de "fenómenos" y el dominio de la "teoría"—. La mayoría de los "modelos", considerado por estas autoras, no pertenecen a ninguno dominio. Algunas entidades pueden ser teóricas, pero en realidad no constituyen una teoría. Debido a que tanto su construcción y sus modos de funcionamiento han demostrado ser relativamente independientes de las teorías, esto hace que exista una clase de independencia funcional, que el modelo sea un agente autónomo en la producción de conocimiento; de tal manera, que es “la autonomía de los modelos lo que nos permite caracterizarlos como instrumentos” (Morgan y Morrison, 1998).

Los modelos se consideran funcionalmente autónomos de la teoría y son mediadores entre ésta y los fenómenos. Pueden mediar en diferentes maneras, también funcionar como herramientas debido a su carácter autónomo. Pero, los modelos que se utilizan en la ciencia son en realidad más que instrumentos, son "instrumentos de investigación". Así, Morrison y Morgan hacen hincapié en la importancia de la viabilidad y la fácil manipulación de los modelos para la actividad científica.

Cartwright (1995) argumenta que “uso la imagen de la caja de herramientas de la ciencia para describir un tipo de instrumentalismo que defiende como parte de este movimiento para socavar el dominio de teoría”. El concepto de “caja de herramientas” es metafórico, pues no se usa de manera convencional sino en el sentido de que son herramientas conceptuales —modelos, e incluso metáforas—.

En el mismo sentido, la denominación de "instrumentalismo" es también una metáfora que podría llamarse "instrumentalismo conceptual". Está menos centrado sobre los usos de la ciencia como instrumentos para intervenir en el mundo material y más orientado a considerarlos como herramientas para la "comprensión". Esto permite intervenir en el mundo conceptual de las interpretaciones y representaciones, y posibilita la forma en que el conocimiento científico es codificado con "nuestros instrumentos, nuestras técnicas matemáticas, nuestros métodos de aproximación, la forma de nuestros laboratorios, y el patrón de desarrollo industrial" (Cartwright, 1995). Según Cartwright,

estos "fragmentos de la comprensión" no deben considerarse como candidatos para la verdad o falsedad, sino como modelos de "cosas reales y las formas reales en que se comportan". No hay reclamaciones teóricas sino "herramientas de adaptación," que permiten la interpretación de fracciones que representan el mundo, por encima de todo, para hacer predicciones más o menos precisas sobre el comportamiento particular de sistemas concretos. Esto permite comprender que los modelos científicos son generalmente hechos por el hombre con una variedad de ingredientes, a menudo manipulados de acuerdo a un esquema determinado, y empleados para obtener el conocimiento de diversas maneras.

Los modelos como mediadores hacen énfasis en su diversidad, su independencia de la teoría y la pluralidad de formas en las que puede representar cualquier cosa que hagan. Al menos implícitamente, Cartwright, Morrison, y Morgan comienzan con la hipótesis de una separación básica entre la teoría y los fenómenos, realizando un giro a la economía, pues consideran que la física no puede ser el mejor lugar para empezar si se quiere escapar del dominio de la teoría. Este enfoque, según Psillos (2000), es ampliamente funcionalista. Los modelos no están individualizados por su contenido ni por cómo representan. Más bien, se individualizan y se distinguen de las teorías por las funciones que desempeñan. La primera función se refiere a la forma en que están contruidos: rara vez la teoría proporciona todo el conjunto de bloques para la construcción de los modelos. En los casos más típicos, los elementos de una o más teorías, u otros modelos, los datos así como las múltiples herramientas analíticas (p.ej., simplificaciones) que sirven para manejar computacionalmente el modelo, contribuyen a su constitución. Los modelos son «autónomos» de cada una de estas fuentes, en el sentido de que no se derivan particularmente de alguna. La segunda función se refiere a su utilización como instrumentos para la exploración y desarrollo de la teoría, y más directamente para mediciones más precisas. La tercera se refiere a su capacidad de representar. Y la cuarta función se refiere a su capacidad para mejorar el aprendizaje: esto no se agota en la construcción del modelo, se complementa con el uso del modelo. La concepción funcionalista anterior se aprecia mejor como el surgimiento de un conjunto de generalizaciones amplias sobre el funcionamiento de los modelos, su papel, su relación con la teoría y la evidencia empírica, la forma en que se utilicen, y el tipo de conocimiento que contienen y pueden generar.

### *2.1.3 Concepción Epistémica*

Debido a que la filosofía de la ciencia no ha prestado atención al papel de los modelos en la producción de conocimiento, a pesar de los esfuerzos de investigadores de la ciencia cognitiva que consideran que el conocimiento es importante y que está ligado a la capacidad de construir herramientas y manipular el entorno material exterior, Knuuttila (2005) considera que los modelos son artefactos epistémicos, que son construidos deliberadamente a partir de cosas que se materializan en un medio y se utilizan con un carácter epistémico en una multitud de formas. Sin embargo, una de las propiedades más interesantes de los modelos se da en la vía en que la intencionalidad y la materialidad se interceptan en sus diversos usos. A pesar de que se ha hecho habitual hablar de modelos teóricos o formales, como "herramientas" o "tecnologías teóricas", gran parte de las consideraciones no le han atribuido una dimensión material y es precisamente esto último y su papel en las representaciones los que permiten que los modelos sean objetos de conocimiento y les posibilita ser mediadores entre las personas y sus diferentes prácticas. Sin la mediación de materialidad se convierte en algo vacío.

Los modelos no deben tomarse como simples objetos materiales, sino más bien como objetos abstractos que se materializan de maneras diversas. Existe una fuerte tendencia a distinguir las cosas materiales de las teóricas, abstractas o ideales. Sin embargo, como partes constitutivas del ambiente humano, a las materiales ya se les ha atribuido interpretaciones, significados y conocimientos, incluyendo las cosas que se suelen tomar como herramientas puras, como aparatos e instrumentos de laboratorio, así como lo expresa Galison (1988)<sup>31</sup>. En este orden, las ideas teóricas que se presentan mediante diagramas, fotografía o mediante el lenguaje formal o natural se materializan en diversas inscripciones, ya sea en papel o en una pantalla. Todos los objetos de la cultura humana tienen una dimensión ideal —o virtual— y una material que se hace presente en los textos e imágenes. Por lo tanto, no es posible hacer una demarcación estricta entre lo que es material y lo que no lo es. En su lugar se debe, sobre todo en el contexto de los

---

<sup>31</sup> Galison (1988) afirma que los científicos investigan usando determinados tipos de instrumentos y aparatos para obtener evidencias particulares de manera más convincente. Los instrumentos y las técnicas no están asociadas a una teoría en particular, sino que contribuyen de manera significativa a la comprensión de los fenómenos y se constituyen en elementos epistemológicos fundamentales para la investigación científica.

modelos y las representaciones científicas, tener en cuenta el medio por el cual se materializan, es decir, se deben especificar los medios de notificación.

El enfoque específico de los medios de notificación de los modelos se centra en sus limitaciones y propiedades en relación con el medio, que les permite hacer una acción. La forma como se materializan las cosas implica que tengan unos modelos de construcción específicos y, por lo tanto, sus propias formas de funcionamiento. Esto no los hace abiertos a todas las posibles interpretaciones y usos, lo que simplifica o modifica la tarea cognitiva de los científicos cuando realizan su trabajo. Las limitaciones de los modelos o las restricciones incorporadas a ellos en el desarrollo del trabajo científico generalmente intentan convertirse en una propiedad que depende del medio y esto le permite realizar las acciones necesarias para aprender a usarlo o "manipularlo". El aprendizaje se hace posible a través de la dimensión material de modelos, que proporciona a los científicos un objeto de trabajo. La dimensión material, que se requiere en realidad de los modelos para que puedan ser "independientes" en el sentido de que puede ser transferido a otras tareas y contextos, también es fundamental para su productividad. Los modelos a veces conllevan a nuevas y variadas condiciones, nuevas aplicaciones, nuevos problemas y líneas de investigación.

El enfoque de los modelos como artefactos<sup>32</sup>, destaca su multifuncionalidad en la ciencia y sugiere que los vínculos entre los modelos y la realidad son más complejos de los que parece cuando se centra solo en la representación. Esto es lo que pretenden mostrar Knuuttila y Voutilainen (2003) en su estudio en el campo de la tecnología del lenguaje, donde argumentan que el valor epistémico de un analizador se debe principalmente a su aplicación. Esto es contrario a los principios del enfoque semántico de los modelos. Según este, el analizador se basa en la gramática lingüística y el enfoque epistemológico está orientado a la representación de las competencias lingüísticas. Sin embargo, esto es algo a lo que no puede ser comprobado hasta que se logra construir y hacer funcionar el analizador. Una vez que el analizador produce la salida correcta, puede ser utilizado como punto de partida para tratar de responder a varias preguntas sobre el lenguaje y la cognición. Knuuttila (2005) señala, además, que tan pronto como se inicia la construcción de los analizadores, su fabricación se

---

<sup>32</sup> La materialidad de los modelos pueden adaptarse a lo que Baird (2006) llama "conocimiento del objeto", que es a menudo tácito y está más vinculado a los entornos locales y la experiencia de los conocimientos teóricos explícitos.

convierte en un problema epistemológico y metodológico interesante por derecho propio. Así, los nuevos artefactos generan nuevos objetos de investigación que se convierten en una serie de nuevos problemas.

Desde el punto de vista del proceso de modelización, no se puede desestimar la importancia de modelos. Es así que Knuuttila (2005) argumenta que los modelos pueden ser tratados como artefactos epistémicos desde el punto de vista de la práctica científica, haciendo hincapié en la importancia para la investigación científica. Concebir los modelos, desde esta perspectiva implica estar abierto a diferentes interpretaciones y usos, ya que funcionan como herramientas y objetos de investigación. Esta concepción permite ajustar muchas acciones a lo que los científicos llaman modelos, pero que algunas concepciones como la semántica no reconocen como tal, debido a su predisposición a conceptualizarlos como modelos abstractos o entidades teóricas.

Considerar que un modelo es un artefacto epistémico implica, en primer lugar, que la acción humana o las huellas de la misma, están presentes en él. En segundo lugar, implica que los modelos son de alguna manera materializados en el campo intersubjetivo de la actividad humana. En tercer lugar, que los modelos pueden funcionar como objetos de conocimiento. Con respecto a la importancia de la intervención humana para la modelización, la relación de modelización parece ser diádicas, pero es, de hecho, triádica. Cuando se elige algo como modelo, se hace con unos objetivos y metas que abordan las características que se juzgan. Así, los modelos no se pueden comprender sin tener en cuenta la acción humana. Dar materialidad a los modelos, significa que tienen su propia construcción y por lo tanto sus propias formas de funcionamiento. En consecuencia, no están abiertos a todas las posibles interpretaciones y usos. En otras palabras, los modelos, al igual que todas las herramientas, tienen sus propias limitaciones relativas a la utilización. Se podría decir que la construcción de un modelo promueve el pensamiento y permite avanzar así en la investigación.

Centrarse en los modelos como artefactos multifuncionales permite entrar en consonancia con la tradición pragmática pues es precisamente la dimensión material de modelos lo que los hace objetos colectivos de conocimientos y permite mediar entre las diferentes personas y prácticas debido a la intencionalidad y la intersección de su importancia en diversos usos, siendo la representación uno de ellos.

#### ***2.1.4 Concepción Inferencial***

La diferencia entre el mundo real y el mundo de los modelos se logra disminuir si existe algún tipo de puente o enlace. Según Sudgen (2000), “el espacio se puede salvar mediante un razonamiento surrogativo”. En este sentido, los modelos deben describir “mundos creíbles” y es esta credibilidad la que da garantías para hacer inferencias surrogativas del modelo a la realidad. Se asume como surrogativo cualquier modo de razonamiento que permita establecer proposiciones generales a partir de proposiciones específicas. De esta manera, las inferencias surrogativas están justificadas por recurrir a hipótesis muy generales que permiten mostrar que los resultados derivados del modelo son robustos. Esto da más confianza en las inferencias cuanto mejor entendamos el modelo como una descripción de cómo podría ser el mundo. Es decir, son más fiables los resultados cuanto más creíble sea el mundo reflejado en el modelo. Una virtud importante de la credibilidad es la coherencia. El modelo debe presentar coherencia no solo en los supuestos sino también en relación a lo que conocemos sobre el proceso de causalidad en la realidad.

Para Sudgen (2000), los modelos son construcciones artificiales y su importancia epistémica se basa en la extrapolación inductiva de estos mundos artificiales al mundo real. La base epistemológica de los modelos de acuerdo con esta visión se basa en un salto inductivo, que es similar a la extrapolación de una población a otra. En primer lugar, construir una población desde mundos imaginarios, pero verosímiles da pie para investigar sus principales características, y luego para hacer una similitud basada en un salto inductivo y afirmar que el mundo real también comparte estas características destacadas. Los modelos en los mundos creíbles son surrogativos porque facilitan el acceso a sus objetivos —target— en razón de su credibilidad.

Donato y Zamora (2009) consideran que los modelos científicos son, básicamente, un tipo de artefacto. En particular, son instrumentos para el razonamiento sustitutivo y ofrecen una explicación unificada de los tres aspectos del uso de modelos científicos que resultan ser difíciles de armonizar: su papel como representaciones, como explicaciones, y como instrumentos para la construcción que permiten el aprendizaje y la manipulación.

Los modelos son como “prótesis inferenciales” —instrumentos de razonamiento surrogativo—<sup>33</sup>, contruidos por significados de procesos de idealización-concretización, lo que esencialmente se entiende como una clase de procedimiento de deformación contrafáctica, en la que se plantea una hipótesis de resultado probable si las condiciones reales fueran como las del modelo, también analizado en términos inferenciales. Se supone que los modelos son, en cierto sentido, una fuente de conocimientos sobre el mundo, donde su principal uso es ayudar a sacar conclusiones del sistema que representan. De esta manera, las consecuencias de las hipótesis a las conclusiones no se llevan a cabo en la mente del modelador o solo expresado en lenguaje natural, sino se apoya en ayudas externas como las prótesis inferenciales.

## **2.2 Uso de los modelos en la ciencia**

Las investigaciones recientes sobre el uso de modelos en la ciencia se refieren a ellos en términos de representación, aislamiento y razonamiento surrogativo. De esta manera, se hace especial énfasis en cada una de las tendencias de esta gran clasificación.

Cuando se asume que los modelos deben ser entendidos en su contexto de aplicación, estos surgen como una forma de la actividad de representación. Por esto, una gran cantidad de investigaciones se han dedicado a estudiar casos particulares de los modelos y de la modelización con gran detalle, orientados desde una relación diádica entre la fuente y el objetivo — target—, que están expuestas en forma de similitud, causalidad, denotación, y dejan de lado la relación triádica donde es necesario introducir la intención del agente para dar cuenta del carácter representacional.

Las interpretaciones de los modelos en términos de aislamiento y razonamiento surrogativo, planteado desde la teoría económica pretenden abordar las relaciones del

---

<sup>33</sup> Para Suárez (2008), “la función principal de la construcción de modelos en ciencia es el permitir razonamiento sustitutivo con el fin de inquirir en la naturaleza, la estructura y función de aquellas entidades y sistemas que se modelizan. Conseguimos esto construyendo representaciones particularmente perspicuas en el sentido que éstas, interpretadas correctamente, permiten a un agente informado y competente derivar conclusiones interesantes acerca de los sistemas representados. Así podemos decir que un modelo científico opera dentro de un conjunto de interpretaciones y reglas inferenciales que permiten el razonamiento sustitutivo. Los modelos matemáticos de procesos físicos basados en ecuaciones diferenciales constituyen un ejemplo obvio de ello. Considérese el caso de la aplicación de la ecuación de Schrödinger a las interacciones de medida mecánico-cuánticas tal y como se modeliza el espacio de Hilbert. Esta característica se generaliza: cualquier modelo científico requiere de un conjunto de interpretaciones y reglas de inferencia para la realización de éstas”.

modelo con el mundo a través de la epistemología. Se parte de la relación epistemológica de los modelos como análoga a la experimentación: primero se construye o se establece algo (hipótesis, conjeturas), después se investiga las propiedades de lo que se ha construido y luego se reflexiona sobre cómo se establecen las propiedades de lo construido en relación con el mundo. El razonamiento a través de modelos es, esencialmente, aprender sobre los sistemas de alquiler<sup>34</sup>, y esta naturaleza surrogativa diferencia la elaboración de modelos de otras actividades epistémicas como la representación directa. Es entonces lógico pensar que la epistemología de la modelización debe reflejar una característica esencial: aprender sobre los sistemas de construcción de modelos requiere una teoría adicional de cómo podemos aprender algo acerca de la realidad mediante el aprendizaje alrededor de los sistemas de alquiler o surrogativos.

### ***2.2.1 Funciones de los modelos como representación***

Considerando la relación que se da entre la realidad y las teorías, se asume que los modelos pueden realizar dos funciones diferentes de representación. Por una parte, un modelo puede ser una representación de una parte seleccionada del mundo. Así, dependiendo de la naturaleza de la fuente, estos modelos pueden ser de fenómenos o de datos. En otra perspectiva, un modelo puede representar una teoría en el sentido de interpretar los axiomas y las leyes de la teoría. Estas funciones no son excluyentes y los modelos pueden asumir cualquiera de las dos o las dos al mismo tiempo.

#### *2.2.1.1 Modelos de fenómenos*

Muchos modelos científicos representan un fenómeno, como el modelo de bola de billar de un gas, el del átomo de Böhr y el de doble hélice del ADN. El término "fenómeno" se utiliza para abordar los efectos repetibles y estables o los procesos que son objetos potenciales de predicción y explicación sistemática de las teorías en general, y que pueden servir como prueba de estas. Realistas, como Bogen y Woodward (1988), no imponen ningún tipo de restricciones al presentar un "tercer nivel" en la dicotomía

---

<sup>34</sup> Haciendo la metáfora con la construcción de modelos, se puede modificar las condiciones de construcción de un modelo por otro elaborado en otros ámbitos en beneficio de la explicación.

clásica de la teoría y las observaciones: los fenómenos científicos. De esto se diferencia la noción de fenómenos en la tradición empirista de "salvar los fenómenos, donde los observables son independientes de la teoría y depende de los individuos asumirlos como tal. Esta concepción es defendida por Van Fraassen (1980): "la creencia involucrada al aceptar una teoría científica es meramente que ella "salva los fenómenos", es decir, "que describe correctamente lo que es observable".

Bogen y Woodward (1988) consideran que los fenómenos suelen ser observables. Sin embargo, los fenómenos se pueden deducir de los datos observables, después de que la fiabilidad de estos últimos han sido garantizados por los diversos procedimientos experimentales de la inferencia estadística, la reducción de datos, la exclusión de los factores de confusión, error y control de ruidos, y similares.

Hay otra característica que distingue a los datos y los fenómenos. Considerando que los fenómenos son "estables" en diferentes contextos experimentales, los datos suelen carecer de esta estabilidad y son a menudo muy particulares, debido a las causas propias de los contextos. Considerando que existen buenas razones para creer que hay un verdadero punto de fusión de plomo y que tiene un valor particular —es decir,  $327,43^{\circ}\text{C}$ —, puede darse que ninguno de los valores de un conjunto particular de lecturas del termómetro coincida con el valor real. Lo que es más, ni siquiera se puede saber la razón precisa de la variación de los datos. Estos dependen de una multitud de factores y no todos son susceptibles de controlar de forma plena.

Un modelo se considera como una descripción interpretativa de un fenómeno, que facilita el acceso a éste. El fenómeno abarca tanto objetos como procesos. Muchas interpretaciones se basan, por ejemplo, en idealizaciones, simplificaciones o analogías con relación a las descripciones e interpretaciones de otros fenómenos. El acceso puede ser a través de la percepción o mediante la utilización de herramientas intelectuales. Facilitar el paso implica generalmente centrarse en aspectos concretos de un fenómeno, dejando deliberadamente de lado a otros. Como resultado de esto, los modelos solo hacen descripciones parciales. Estos pueden ser objetos, como un avión de juguete, y entidades abstractas o teóricas, como por ejemplo el modelo estándar de la estructura de la materia y sus partículas fundamentales. En el primer caso, los modelos a escala permiten ampliar la percepción mediante la ampliación —ej. Un modelo de plástico de

un copo de nieve— o reducción —ej. un globo como un modelo de la tierra—. Esto implica hacer explícitas las características que no son directamente observables —ej. Estructura de ADN o elementos químicos que hacen parte de la estructura de una estrella—.

La mayoría de los modelos científicos están lejos de ser algo material, como las barras y esferas de los modelos moleculares usados en la enseñanza. Estos están relacionados con aspectos teóricos, pues con frecuencia se basan en ideas o conceptos abstractos y emplean un formalismo matemático —como los modelos del Bing Bang—, pero siempre tienen la intención de proporcionar acceso a los aspectos de un fenómeno que se consideran esenciales. Por ejemplo, el modelo del átomo de Böhr nos da una idea acerca de las configuraciones de los electrones y el núcleo de un átomo, así como de las fuerzas que actúan entre ellos —el modelo del corazón representado mediante una bomba nos da indicios acerca del funcionamiento de éste—.

Los medios a través de los cuales los modelos científicos se expresan van desde lo concreto a lo abstracto, como dibujos, diagramas, texto normales, gráficos, hasta ecuaciones matemáticas, por nombrar solo algunos. Todas estas formas de expresión tiene el propósito de facilitar el acceso intelectual a las ideas relevantes que el modelo describe. Esto último significa dar información y proveer recursos para interpretarlo, así como poder comunicar de manera eficiente a aquellos que comparten determinadas actividades intelectuales. Los modelos científicos se refieren particularmente a los fenómenos empíricos —objetos y procesos—, ya sea que se trate de cómo doblar y romper los metales así de cómo fueron los procesos evolutivos del hombre.

Desde esta perspectiva, todo lo que se utiliza en ciencia para describir un fenómeno empírico es un modelo. Como los modelos científicos se refieren a tal variedad de entidades, a veces se dificulta decir algo que pueda ser común a todos los tipos de modelos científicos. Sin embargo, Frigg y Hartmann (2006) elaboraron unas categorías para abordar los estilos de representación propuestos en la literatura sobre los modelos. Entre ellos, están los modelos a escala, los idealizados, los analógicos y fenomenológicos. Estas categorías no son mutuamente excluyentes. Por ejemplo, algunos modelos a escala podrían considerarse también como idealizados y no está claro dónde trazar la línea divisoria entre los idealizados y analógicos.

#### *2.2.1.1.1 Modelos a escala*

Black (1962) considera que algunos modelos, por su tamaño, corresponden a copias ampliadas o reducidas de objetos. Por lo general, un modelo a escala es más pequeño que el objeto real. La relación entre el tamaño de un modelo y el del objeto real se le llama escala. Los ejemplos típicos son los coches de colección o los modelos de puentes. Una primera intuición de una maqueta está en relación a una réplica naturalista o una imagen especular de un objeto. Por esta razón, los modelos a escala también se conocen como "modelos verdaderos", como lo expresa Achinstein (1968). Sin embargo, no existe una escala perfectamente fiel al modelo, pues la fidelidad es siempre restringida a algunos aspectos. El modelo del vehículo de colección, por ejemplo, proporciona una imagen fiel de la forma del coche, pero no dice nada acerca del material del que este está construido.

En algunos casos, los modelos a escala se emplean como prototipos para predecir la función de un objeto. De esta manera, se procede sobre la base de ensayo y error, lo que no deja de ser un modo de cometer errores pero sin grandes costos y con cierta seguridad. Además existen objetos que han de funcionar bien desde la primera vez y solo se pueden probar con algún modelo. Por ejemplo, los túneles de viento fueron construidos por primera vez en 1871 por unos ingenieros ingleses para experimentar con las formas de las alas. La función de superficie de un ala depende de cuatro parámetros: peso, empuje, sustentación y arrastre. Un túnel aerodinámico permite medir dos de esos parámetros: la sustentación y el arrastre que son los que dependen de la forma del ala —el área superficial, arriba y abajo, su curvatura, su espesor y la relación entre ancho y longitud— y del ángulo de ataque contra la corriente de aire. Un ingeniero mide la sustentación y el arrastre directamente en un modelo del ala con medidores sensibles a pequeñas variaciones de las fuerzas que operan sobre el modelo, luego procede a la construcción a una mayor escala. Sin embargo, se encuentra que los resultados de hacer funcionar los modelos en túneles aerodinámicos no se equiparan con lo que ocurriría con el avión de tamaño normal. Esto implica que la formulación de modelos a escala es menos obvia que sus usos. Para el caso del modelo de avión, aunque haya parecidos entre el diseño del ala y la del modelo a escala, es evidente los problemas que se enfrentan frente a su tamaño. La similitud sería condición para determinar los aspectos semejantes y diferentes. En todo caso, si se tuvieran dos

modelos a escala de un mismo objeto, serían dos modos de representación distintos, pues se aplica directamente a los dos objetos físicos.

Los modelos a escala parecen ser un caso especial de una categoría más amplia de representaciones a las que Peirce (1931) llamó “icónica”: elementos que representan algo porque se parecen mucho. La representación icónica o de modelos a escala, por ejemplo, tiene un carácter local, en el sentido de que solo se aplica a una situación particular en un momento determinado o que requiere la mediación de un modelo matemático —abstracto— para relacionarse con otras formas del discurso y la representación científica, como las teorías.

Los mapas se constituyen en una clase de modelos a escala, pues permite la representación gráfica de la superficie de la tierra o parte de la misma, dibujada a escala o plano, donde los detalles se pierden. No tiene sentido un mapa a mayor escala, porque se volvería grande y detallado como el propio terreno perdiendo así su utilidad. Casos conocidos de mapas donde se excluyen partes reales y poco importantes son los del sistema de metro de Madrid y Londres. Existen deliberadas distorsiones de la geografía del terreno hechas por los topógrafos, en el sentido que se hacen grandes simplificaciones de los espacios de las estaciones y de las curvas de los túneles, dando como resultado un perfil estético que solo mantiene las relaciones y directrices como las paradas de las líneas y las intersecciones. En 1933, Harry Beck diseñó el plano del metro de Londres —el mismo esquema se ha utilizado en la última versión del plano del metro de Madrid— considerando que sería más sencillo para los usuarios entenderlo si se representaba de un modo esquemático, más ordenado y diseñado, basado en líneas ortogonales. Esto dio como resultado un plano, no de una topografía sino de una red con sus nudos, o sea, una topología. En el caso de los mapas de los antiguos, la inclusión de partes irreales pero psicológicamente importantes del problema posibilitaban dar la información necesaria y suficiente, así que se incluían monstruos y animales fabulosos en los límites que conocía el cartógrafo. En el caso de los planos, la guía para destacar solo las proporciones y la forma geométrica sería el isomorfismo, pues se aplica a las estructuras abstractas.

De esta manera, los modelos a escala representan a su sistema de destino por el desplazamiento de una imagen idealizada y, la abstracción física de algunas de las características de éste y de sus relaciones.

### *2.2.1.1.2 Modelos Analógicos*

El modelo analógico no es una reproducción detallada de todas las cualidades del sistema real, sino que refleja solamente la estructura de relaciones y determinadas propiedades fundamentales. Se establece una analogía entre el sistema real y el modelo, estudiándose el primero y utilizando como herramienta auxiliar al segundo. Se dice que dos cosas son análogas si hay ciertas similitudes relevantes entre ellas. Un ejemplo de esto lo encontramos en los computadores electrónicos, que han servido como modelos materiales de las operaciones intelectuales del hombre.

Hesse (1963) considera en hay analogías materiales y formales. En una analogía material hay formas de establecer las clases de relaciones de similitud entre dos objetos. Una primera consideración es aquella que se basa en propiedades compartidas. Por ejemplo, en química, el término periódico significa repetición a intervalos regulares y en estas clasificaciones los elementos se han agrupado basándose en las similitudes de sus propiedades y en el incremento de los pesos atómicos. En algunos casos no es una condición necesaria la similitud entre sus propiedades, como en el caso de la analogía entre célula vegetal y una fábrica. Para tener una idea de cuál es el funcionamiento global de una célula, se compara con lo que sucede en una fábrica: todas las partes de una fábrica no funcionan independientemente.

La analogía entre dos objetos también puede basarse en las similitudes relevantes entre sus propiedades. En este sentido, es posible establecer una analogía entre la luz y el sonido, pues las reflexiones son similares a los ecos, el brillo y al ruido; el color al tono, los órganos de detección, la detectabilidad por el ojo a la detectabilidad por el oído, y así sucesivamente.

Las analogías también pueden basarse en la similitud o semejanza de las relaciones entre las partes de dos sistemas en lugar de sus propiedades monovalentes. Este es el sentido en el que algunos políticos afirman que la relación entre un padre y sus hijos es análoga a la relación entre el Estado y los ciudadanos.

En la analogía formal se hace una abstracción de las características concretas que los sistemas poseen y solo se centran en sus consideraciones formales. Lo que el modelo análogo luego comparte con su objetivo no es una serie de características, sino el mismo

patrón de relaciones abstractas —por ejemplo, la misma estructura, donde ésta es entendida en el sentido formal—. Dos modelos están relacionados por analogía formal si ambos son interpretaciones del mismo cálculo formal. Por ejemplo, hay una analogía formal entre un péndulo oscilante y un circuito eléctrico oscilante, debido a que ambos son descritos por la misma ecuación diferencial.

En las analogías formales, que se expresan entre sistemas que han sido modelados matemáticamente, las propiedades son las cantidades físicas que se usan en los modelos, mientras que las relaciones son las ecuaciones que los gobiernan. En una analogía, las variables en los modelos no precisan ser de la misma naturaleza. Por ejemplo, una variable en un modelo puede ser un vector, mientras que su correspondiente análogo puede ser un escalar. Pero, si todas las variables son de la misma naturaleza en los modelos y estos son análogos, entonces las ecuaciones son las mismas y se trata de un isomorfismo, pues ambas son interpretaciones del mismo cálculo formal.

Hesse (1974) también hace una clasificación de los modelos analógicos de acuerdo al valor positivo, negativo o neutro que se alcance entre dos modelos. Por ejemplo, una analogía positiva se da entre un modelo de las moléculas de un gas como bolas de billar, pues comparten una propiedad en común que es la masa. También se pueden compartir relaciones como en el caso de un péndulo y un circuito eléctrico oscilante. Estos sistemas son análogos en virtud de que sus relaciones formales se describen mediante la ecuación de onda. La 'A' en la fórmula resume lo que es común entre las ondas en el agua, las sonoras y las de la luz nos permite aplicar la amplitud del término.

En la analogía negativa no se comparten propiedades o relaciones. Por ejemplo, las bolas de billar son de colores, mientras que las moléculas del gas no lo son. La analogía neutral comprende las propiedades de las cuales no se tiene certeza si pertenecen a las analogías positivas o negativas. Un acercamiento a este tipo de analogía está dada en relación a las moléculas del gas y si éstas cumplen las leyes de Newton: ¿se puede afirmar qué están en equilibrio?

Al transformar las propiedades en analógicas, con frecuencia se puede incrementar nuestra capacidad de hacer cambios. Esto permite el surgimiento de nuevos interrogantes y sugieren nuevas hipótesis, jugando así un papel heurístico en la

construcción de teorías y en el pensamiento creativo, que son aspectos fundamentales en la investigación científica, así como lo expresa Meyer (1951):

El valor heurístico de los modelos científicos es doble. A menudo se dice que estos modelos sirven para descubrir nuevos fenómenos y por lo tanto puede guiar nuestras acciones, pero es más bien al revés: los nuevos fenómenos que encajan en un modelo de la ciencia, refuerza la confianza de los científicos en él y los hace reticentes a desprenderse de él. Piense en el prestigio del modelo de Newton que possibilitó el descubrimiento de asteroides en 1801 y la idea de Einstein para incorporar la materia y la energía en un único modelo, cuando se comprobó la desviación de la luz por la masa del sol... El segundo aspecto de la heurística de los modelos científicos está en relación a la apertura a nuevas perspectivas. El acondicionamiento de nuevos hechos a viejos modelos es menos fructífero para el avance de la ciencia que descubrir que los modelos vigentes deben ser revisados porque aparecen nuevos hechos. Un ejemplo de este en la insuficiencia de Maxwell para explicar los fenómenos electromagnéticos basados en los modelos de atracción y repulsión.

#### *2.2.1.1.3 Modelos fenomenológicos*

Los modelos fenomenológicos han sido definidos en diferentes maneras aunque todos relacionadas entre sí. Una definición tradicional los toma como modelos que solo representan propiedades observables de sus objetivos y se abstiene de postular mecanismos ocultos y similares. McMullin (1968) los define como aquellos que son independientes de las teorías. Muchos modelos fenomenológicos, mientras no pueden derivarse de una teoría, incorporan principios y leyes asociadas con teorías. El modelo de goteo líquido del núcleo del átomo, por ejemplo, retrata al núcleo como una gota líquida y lo describe como poseedor de diversas propiedades (tensión de superficie y carga, entre otras), lo que origina diferentes teorías (la hidrodinámica y electrodinámica, respectivamente). Ciertos aspectos de estas teorías —aunque usualmente no la teoría completa— son luego usados para determinar tanto las propiedades estáticas como las dinámicas del núcleo.

Portides (2005) considera que los modelos fenomenológicos son una especie de modelos matemáticos contruidos por los físicos para aplicar la teoría a los fenómenos. Por tratarse de una especie de modelo matemático, su función de representación, su relación con la teoría y los fenómenos, su función como fuente de conocimiento, sus métodos de construcción y, más en general, su importancia en la física se han visto opacados por otra especie de modelos matemáticos. Estos modelos se basan en la idea de que las teorías impulsadas por los modelos son un camino construido en una teoría sistemática regulada para completar el cálculo teórico a nivel local con las hipótesis operativas que se pueden expresar en un aparato conceptual, que se supone es congruente con la teoría.

Los modelos fenomenológicos son contruidos por el despliegue de resultados semi-empíricos, por el uso de hipótesis ad hoc o por el uso de un aparato conceptual que no está directamente relacionado con los conceptos fundamentales de la teoría y no siempre son compatibles con los cálculos teóricos. Definiciones similares de modelos fenomenológicos se han dado, explícitamente o no, por Hartmann (1999) y Morrison (1999).

Otra forma de entender la distinción es que los modelos fenomenológicos no son en un sentido directo consecuencias deductivas de la teoría (o una extensión natural de la estructura de la teoría). Por su parte, la física nuclear es un dominio que se estudia principalmente en términos de modelos fenomenológicos. La construcción del modelo de capas de acoplamiento spin-órbita de la estructura nuclear muestra la complejidad del modelo para hacer una representación del núcleo. El modelo de la gota de líquido de la estructura nuclear, que demuestra un alto grado de independencia de la teoría, no pertenece a esa clase de modelos fenomenológicos. De hecho, el proceso demuestra claramente que sin los elementos fenomenológicos el modelo no se puede ser una representación del núcleo, pues no explica todas las propiedades del núcleo, pero sí su forma esférica y además ayuda en la predicción de la energía de ligadura de los núcleos.

Un modelo fenomenológico da cuenta de las regularidades observadas, ya sea en el campo o en un entorno controlado. En ocasiones, la relación con la observación no es directa sino más bien requiere un poco de inferencia de los "ruidos" generados en los datos, como lo expresan Bogen & Woodward (1988).

Toda esta revisión muestra que los modelos fenomenológicos se han comprendido en formas diversas en la ciencia y en la ciencia aplicada, y como los filósofos de la ciencia los analizan para clasificarlos en diferentes categorías.

### *2.2.1.2 Modelos de datos*

Otro tipo de modelos de representación son los llamados "modelos de datos" (Suppes 1962). En este trabajo, Suppes describe una jerarquía de modelos de datos que se conectan con la teoría. Propone tres niveles de modelos: los de la teoría, los de experimentación, y los de datos. Los modelos de la teoría y de experimentación están asociados con las teorías, mientras que los de datos describen las medidas recogidas en un experimento particular. Estos son los registros públicos (ej. las fotografías de la cámara de burbujas, las fotografías de las posiciones estelares) producidos por la medición y el experimento, que sirven como prueba de la existencia de fenómenos o de la posesión de determinadas características. Los datos no solo reflejan el influjo causal de los fenómenos que evidencia, sino también la operación de las características locales y la idiosincrasia de los dispositivos de medición, y el papel de los científicos expertos.

Por ejemplo, los modelos de datos contienen las lecturas de temperatura y presión tomadas durante un recorrido especial de un experimento para hallar la relación entre la temperatura y la presión de un gas cuando el volumen se mantiene constante. En la formulación original de Suppes, no todos los conjuntos de datos recogidos en un experimento se asumen como modelo de datos. Para que un conjunto de datos se constituya en un modelo de datos deben darse condiciones en la teoría del experimento que puedan ser considerados dentro de un margen de error aceptable. También hay pruebas estadísticas que pueden realizar los conjuntos de datos para determinar si se constituye en un modelo de datos.

Los datos en bruto no son, por general, una forma utilizada por los científicos. Por esta razón, estos deben someterse a algún grado de procesamiento antes de que puedan ser analizados. Con frecuencia, un primer paso en el procesamiento de datos es la eliminación del ruido en su conjunto. Por ejemplo, si se está observando las posiciones de los planetas a través del cielo nocturno, se encuentra que hay un cierto grado de error

asociado con cada una de las mediciones debido a defectos en el telescopio, el error humano, las condiciones atmosféricas u otros factores en el medio ambiente. Antes de que se trace la trayectoria de un planeta determinado, es necesario hacer dos cosas: (1) la eliminación de algunos puntos que fueron resultado de un error (por ejemplo, se ve un planeta donde no había uno solo), y (2) dibujar una curva suave a través de los puntos restantes, de modo que la ruta de acceso resultante del planeta no es ir de punto a punto.

En resumen, el procesamiento de los datos permite producir un suave camino continuo para un planeta a partir de una colección de datos discretos. Los recuentos de la información, como los datos en bruto, deben hacerse casi siempre por medio de este tipo de tratamiento antes de que tenga una forma utilizable. Este último trazado de la ruta de acceso del planeta puede ser considerado un modelo de datos. Muchos cambios se han hecho en el conjunto de datos original. Algunos puntos de datos han sido eliminados, y los valores discretos han sido sustituidos por una curva suave y continua. El primer paso se llama reducción de datos, y el segundo ajuste de curvas. Estos dos pasos se utilizan a menudo cuando se construye tramas de datos en los laboratorios de química o física, tales como la temperatura en función de la resistividad en un experimento de física del estado sólido, o de temperatura en función de la presión en un test de la ley de los gases ideales. Las curvas resultantes no solo son similares a los datos originales, sino también diferentes, siendo continuas y, por lo general, no coinciden exactamente con la mayoría de los puntos originales en los datos. Las curvas son ahora un modelo de los datos construido por los científicos y son similares a los datos originales en los aspectos relevantes.

Una cuenta de datos que emplea modelos de datos pueden ocuparse de la función de los objetivos y los supuestos teóricos en el procesamiento e interpretación de diferentes maneras. Por ejemplo, se reconoce que hay diferentes formas de modelos y que estas diferentes formas de modelado dan como resultado diferencias y semejanzas con los objetos del mundo real que se pretende representar. Por ejemplo, cuando se crea un mapa del mundo, dos dimensiones, existe una serie posible de proyecciones cartográficas que un cartógrafo puede elegir, ya sea una proyección ortomórfica, que conserva la forma pero cambia la relación de las áreas de los continentes, o una proyección equivalente, que conserva los tamaños relativos de los continentes pero distorsionan su forma. El cartógrafo elige una proyección especial con un objetivo en

mente. Del mismo modo, cuando los científicos optan por realizar un histograma en lugar de una curva suave de un conjunto de datos, saben que ciertas regularidades en los datos se pondrán de relieve, mientras que otra información se perderá. Como lo expresa Harris (2002), los científicos, al tomar decisiones relativas a la construcción y la transformación de un modelo de datos, conocen diferencias así como similitudes entre el modelo, los datos y el objeto del mundo real que se pretende representar.

Los modelos de datos juegan un papel crucial en la confirmación de teorías, porque son estos los que permiten confirmar la predicción teórica. Así, un modelo de datos es conjunto de valores corregidos, rectificados, regulados y en muchos casos idealizados de la versión inicial obtenidos en la observación inmediata. Aquí juega un papel fundamental la denominada teoría de errores, puesto que primero se eliminan los posibles errores para presentar los datos de manera “limpia”. Por ejemplo, cuando se quiere trazar una curva suave a través de un conjunto de puntos, primero se hace una reducción de los datos, es decir, eliminar los puntos que no se ajustan para posteriormente trazar una curva suave ajustada.

La construcción de un modelo de datos puede ser extremadamente complicado, ya que requiere de técnicas estadísticas sofisticadas y genera una serie interrogantes metodológicos y filosóficos: ¿Cómo se decide qué puntos de los datos necesitan ser removidos? Y dado una serie limpia de datos, ¿cuál curva se puede adaptar? La primera pregunta ha sido abordada por Schindler (2008), quien considera que es difícil imaginar que la elaboración de una rutina de reducción de datos se podría hacer sin ningún tipo de comprensión teórica de estos —lo que implicaría la elección a favor o en contra de los datos en particular, por ejemplo, ciertos eventos en las fotografías de cámara de burbujas—. En lugar de asumir la independencia de los datos experimentales de la práctica teórica cuando se trata de la reducción de los datos —y otras formas de establecer la fiabilidad de estos—, una relación entre los dos parece ser mucho más plausible. Con relación a la segunda pregunta, está el problema de adecuación de la curva, el cual consiste en que los datos por si solos no indican qué forma debe tener la curva adaptada. La discusión tradicional de la selección de teorías sugiere que esta cuestión sea solucionada teniendo en cuenta consideraciones de simplicidad, probabilidades previas o una combinación de estas. Forster y Sober (1994) señalan que el problema de la adecuación de la curva es una sobreafirmación, pues existe el criterio de información de Akaike que permite —dadas ciertas

aseveraciones— que los datos por si solos garanticen —aunque no determinen— e infieran lo concerniente a la forma de la curva. Se asume que la curva adecuada debe ser elegida de modo que provoque un balance entre la simplicidad y la adecuación, en una forma que se logre la máxima exactitud de la predicción.

Cuando Bogen and Woodward (1998) introdujeron un "tercer nivel" en la dicotomía clásica de Teoría y las observaciones o fenómenos científicos, plantearon características que distinguen a los modelos de fenómenos y los modelos de datos. Una primera condición es la diferencia de la noción de los fenómenos en la tradición empirista de "salvar los fenómenos" defendido por Van Fraassen (1980). Los autores consideran que los fenómenos son, por lo general no observables; sin embargo, se puede inferir de los datos observables, después de que la fiabilidad de estos últimos ha sido asegurada por procedimientos experimentales que involucran la inferencia estadística, la reducción de datos, la exclusión de los factores de confusión, los errores y el control de ruidos, entre otros. Una segunda característica es que mientras que los modelos de fenómenos son "estables" en diferentes contextos experimentales, los datos normalmente no tienen esta estabilidad y son a menudo particulares debido a las condiciones propias de los contextos.

Un ejemplo que da cuenta de estas diferencias es considerar que hay buenas razones para creer que existe un verdadero punto de fusión de plomo, que tiene un valor particular de  $327,43^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, es muy posible que ninguno de los valores de un conjunto de lecturas de una serie de termómetros coincida con el valor real. No existe una única que explique la variación de los datos, pues depende una multitud de factores que no son fáciles de controlar en todo momento. La lectura dada por el termómetro para una muestra de plomo no depende solo del punto de fusión de plomo, sino también de su pureza, el funcionamiento del termómetro, en la forma en que se aplicó y se hizo la lectura, las interacciones entre el temperatura inicial del termómetro y la muestra además de una variedad de otras condiciones del entorno. A pesar de todos estos factores en la producción de los datos, existen buenas razones para creer en la existencia del fenómeno del punto de fusión de plomo, pues se puede deducir de los valores obtenidos. Este valor inferido es el fenómeno, que es lo que requiere ser explicado, y no los datos. De esta manera, los modelos de fenómenos son de alguna manera deducidos de los datos observables.

### *2.2.1.3 Modelos como teorías*

En el positivismo lógico, los modelos son interpretaciones parciales de la teoría a través de las reglas de correspondencia como la presentada por Carnap (1947), que puede considerarse el punto de partida para los análisis posteriores.

El modelo se asume como la estructura que resulta después de que se interpretan las fórmulas lógicas, de esta manera sería una secuencia de objetos que respondieran a la estructura de la teoría. Según Tarski (1956), “una secuencia arbitraria de objetos que satisface toda función enunciativa de la clase  $L'$  recibirá el nombre de un modelo o realización (justo en el sentido en que usualmente se habla de modelos de un sistema de axiomas de una teoría deductiva).” Así, la estructura es un “modelo” en el sentido de que es lo que la teoría representa. En el caso de la geometría Euclidiana, esta se constituye a partir de axiomas y teoremas, por ejemplo, “cada dos puntos pueden ser unidos por una línea recta”. Cada estructura, a partir de la cual todas estas afirmaciones son ciertas, es un modelo de la geometría Euclidiana.

Así, con el fin de construir un modelo para una colección de objetos, debemos hacer dos cosas. En primer lugar, sustituir los términos originales de los objetos con variables. En segundo lugar, se espera encontrar "secuencias" de los objetos que satisfagan las funciones resultantes.

Algunos autores basados en la lógica matemática, consideran que los modelos son la interpretación de un cálculo abstracto. Una posición similar es defendida por Nagel (1961) quien, manteniéndose dentro de los requisitos del positivismo lógico, aboga por un modelo del cálculo abstracto que provee a la estructura de un contenido empírico en términos más o menos familiares o visibles. La interpretación parcial de la estructura abstracta es entonces un modelo de la teoría, una interpretación semántica del lenguaje teórico.

En el caso de la física, donde las leyes generales son el centro de la teoría, cuando se aplican las leyes de Newton a un sistema particular, por ejemplo, un oscilador armónico, se selecciona una función de fuerza. Además se hace, entre otras consideraciones, la distribución de la masa y del ángulo de oscilación, dando como resultado un modelo que es una interpretación de la ley general.

En la concepción semántica, los modelos se interpretan como estructuras, cuya relación con los sistemas de su objetivo es analizada en términos de isomorfismo: una estructura determinada representa sus sistemas de destino si los dos son estructuralmente isomorfas entre sí. El isomorfismo se puede asimilar a una especie de cartografía que se puede establecer entre los dos elementos siempre que se preserve las relaciones entre ellos. En consecuencia, el poder representativo de una estructura se deriva del hecho de ser isomorfo con respecto a algún sistema real o una parte de ella. Una de las ventajas de hablar en términos de relaciones isomorfas parece ser que éstas se puede dar cuenta de una formulación formal, que no se puede dar, por ejemplo, a la similitud, que es otra candidata que aparece en el análisis de las relaciones de representación. Esta postura ha sido desarrollada y aplicada a una serie de casos particulares por Giere, Van Fraassen, Huges, entre otros.

Para Giere (2004), la modelación es fundamental para la construcción de las explicaciones científicas del mundo natural. Un modelo teórico hace referencia a una entidad abstracta, no lingüística, que se comporta como lo sugieren los enunciados o proposiciones que definen esa entidad. De esta manera, se relaciona con el conjunto de recursos simbólicos que lo precisan y el mundo que modeliza, con el cual establece una relación de similitud. Así, cualquier representación que posibilita pensar, hablar y actuar sobre el sistema estudiado se comporta como un modelo teórico: no solo los modelos abstractos, sino también los prototipos, las imágenes, los mapas, las redes, las analogías, entre otras, siempre que posibiliten describir, explicar, predecir e intervenir.

Giere, cuando discute la mecánica clásica, afirma que las teorías científicas son familias de modelos y que estos se asumen como entidades abstractas. Desde esta perspectiva plantea que los osciladores lineales son candidatos para un análisis formal en términos de modelos matemáticos. Mediante la ecuación de la componente horizontal  $x$  de un péndulo:

$$m d^2 x / dt^2 = - (mg / l) x$$

donde  $l$  es longitud,  $m$  es la masa,  $g$  es la gravedad, se busca modelar el movimiento para un pequeño ángulo de giro,  $\alpha$ , donde  $\cos(\alpha) = 1$  Para esta condición particular es muy difícil establecer una correspondencia con sistemas empíricos. Las ecuaciones que describen el movimiento pendular o cualquier forma de oscilador lineal existente, requiere, de muchos parámetros como la resistencia del aire y el tamaño del ángulo,  $\alpha$ ,

entre otros. Un sistema que satisfaga la anterior ecuación de movimiento abstracto o es solo un modelo que satisface esa ecuación.

De hecho, como ha señalado Giere (2004), existen pocos modelos en la mecánica clásica que tengan una estrecha relación con los sistemas empíricos. La ecuación para cualquier oscilador lineal es una más general que una para la componente horizontal del péndulo, y un modelo para un oscilador lineal debe satisfacer la ecuación para el péndulo. Este último está incrustado en un modelo de oscilador lineal porque el péndulo es en algún sentido isomorfo a una subestructura del oscilador lineal.

Giere separa las preguntas filosóficas acerca de las teorías científicas: “¿qué son las teorías científicas?” y “¿cómo funcionan las teorías en las diversas actividades científicas?”. Proponer que las teorías meta-matemáticas son muy similares a las teorías de la ciencia es plantear una cuestión estructural no restringida por la segunda pregunta acerca del procedimiento. La mayoría de los representantes de la concepción semántica, a pesar de su posición sobre la situación relativa de la meta-matemática y la ciencia, tienen un planteamiento acerca de la relación entre los modelos y los sistemas empíricos. El punto de vista semántico es un intento de dar una explicación general de la naturaleza de las teorías científicas; sin embargo, el campo de la mecánica clásica no es suficiente para dar cuenta de esto.

### ***2.2.2 Modelos como aislamiento teóricos***

Como lo expresa Cartwright (1995), a menudo se reconoce que los modelos económicos y su aplicación tienen características que los diferencian de otros modelos científicos, en particular, los de la física. Una posición que se puede distinguir en el nuevo debate es el aislamiento que posibilitan los modelos como una forma de bloquear los factores causales de las capacidades del mundo real. En analogía a los experimentos de laboratorio, los modelos permiten teóricamente eliminar de manera conceptual la influencia de algunos factores sobre los demás en una situación dada. Estos constituyen entornos en los que las representaciones de estos factores aislados pueden funcionar sin perturbaciones. Los modelos son considerados verdaderos si pueden aislar un factor real, y su contribución epistémica se encuentra en esta descomposición e identificación de los factores causales y sus formas de operación.

Este punto de vista concibe los modelos económicos como sustitutos de los sistemas que pueden aislar algunos de los mecanismos causales o tendencias de sus respectivos sistemas de destino. Una manera de dar una interpretación realista a la teoría económica, a pesar de sus simplificaciones e idealizaciones, es afirmar que su objetivo es aislar las acciones de algún factor causal o de otras posibles causas. Mäki (1992, 1994) y Cartwright (1998) han hecho resurgir el método de aislamiento en el debate de los modelos, una idea antigua abordada por economistas como Mill, Marx y Marshall. Las suposiciones poco realistas no tienen por qué significar la adopción de una actitud no realista hacia una teoría económica. Muy por el contrario, afirman que estos supuestos pueden ser los medios propios de lucha por la verdad. Consideran que la teoría económica como resultado del método de aislamiento permite que un conjunto de elementos sea teóricamente retirado de la influencia de otros en una situación dada. Esto podría ser definido en lo siguiente: en un aislamiento, un conjunto X de entidades se blindaron de la influencia de todo lo demás, que correspondería a un conjunto de entidades Y. Juntas, X y Y, comprenden el universo. El aislamiento de X con relación a Y implica normalmente una representación de las interrelaciones entre los elementos de X. Llamemos X el campo aislado y el campo excluidos Y. Es obvio que cualquier representación implica el aislamiento. Así, una representación puede ser considerada como “realista” si se han aislado un pequeño conjunto de características de un amplio conjunto de las mismas.

La idealización es una simplificación deliberada de algo complicado para hacerlo más manejable. Planos sin fricción, centros de masa, infinitas velocidades, sistemas aislados, o sistemas en perfecto equilibrio son algunos ejemplos. Las discusiones filosóficas sobre la idealización se han centrado en dos tipos generales de idealizaciones: Aristóteles y Galileo.

La idealización aristotélica hace referencia a vedar las propiedades de un objeto concreto que se asume no son relevantes para el problema en cuestión. Esto permite centrarse en un conjunto limitado de propiedades en forma aislada. Un ejemplo de la Mecánica Clásica lo constituye el modelo del sistema planetario, que describe los planetas como cuerpos con forma y masa sin tener en cuenta todas las demás propiedades.

Para Cartwright (1989), la denominación "abstracción" hace referencia a los modelos idealizados. De esta manera, la abstracción es una cuestión de omisión o exclusión de determinadas cosas, o de restar funciones a los objetos concretos y eliminar las circunstancias concretas en las operan. En muchos casos, no se mencionan los colores de los objetos que se supone que representan. Cuando los economistas representan a las empresas como funciones de producción, no hacen referencia a los tipos particulares de máquinas que se pueden emplear en el proceso de producción.

Denominar un modelo como una idealización es sugerir que el modelo es una simplificación de lo que ocurre en la realidad y, por lo general, esta condición omite algunas características relevantes. A veces, los factores omitidos hacen solo una contribución insignificante para efectos de estudio, pero eso no parece ser esencial para las idealizaciones. Se habla de ellas cuando algo no parece ser tan importante, pues las contribuciones de los factores omitidos son pequeños, y se sabe cómo corregirlos. Si la idealización ha de ser usada, cuando llegue el momento de aplicarla a un sistema real es mejor saber cómo volver a tener en cuenta los factores que han sido dejados de lado. En ese caso, su uso no parece refutar la realidad puesto que las condiciones omitidas no parecen importar mucho, o en principio, se sabe cómo tratarlas.

Cuando se idealiza la descripción de un modelo, se asume que éste tiene ciertas propiedades que, de hecho, se sabe que no posee. Así, se le asignan ciertas propiedades al modelo que se asumen como falsas, con la intención de facilitar la aplicación de una teoría. Por ejemplo, el movimiento de un péndulo físico está sometido a la resistencia del aire, lo cual hace que el movimiento sea amortiguado. La Mecánica Clásica emplea el modelo del oscilador armónico, que ignora por completo la resistencia del aire y lo convierte en un sistema infinitamente recurrente, pues un estado del sistema en un momento dado puede ser su condición inicial.

Suárez (2003) considera que la idealización en física es “la descripción o representación —en lenguaje matemático—simplificada del mundo físico; descripciones que sabemos que son falsas o que al menos comprendemos que existe alguna falsedad”. Una descripción o representación teórica idealizada de algún sistema físico tiene por objeto o dominio el mundo real. La idealización y la abstracción son diferentes, pues cada vez que se abstrae algún factor se está describiendo un nuevo objeto abstracto. Así, un péndulo que no experimenta retroceso en su movimiento debido a la resistencia del

medio no es un péndulo concreto ni real, sino un objeto abstracto. La ecuación de movimiento del oscilador armónico se emplea en algunos casos para describir de manera falsa un objeto real —idealización— y en otras oportunidades se utiliza para describir de manera correcta y verdadera un objeto abstracto —abstracción—.

Las idealizaciones, según Musgrave (1981), hacen referencia a los "supuestos de insignificancia". Así que cuando Galileo investiga el movimiento de los cuerpos cayendo en distancias relativamente cortas o rodando por un plano inclinado, supone que no hay efectos de la resistencia del aire o que el efecto no es detectable en los movimientos. Para Musgrave, "los supuestos de insignificancia se sustentan en los factores que podrían tener algún efecto pero que en realidad no se constituyen como tal", pues es claro que el efecto del aire es apreciable para cuerpos de gran tamaño en grandes distancias así como para plumas que caen en pequeñas distancias, pero Galileo asume sus condiciones en el vacío, así que cuando hace las pruebas de los objetos cayendo considera que no hay efecto de la resistencia del aire.

Mäki (2004) denomina las idealizaciones como "método de aislamiento". Para el autor, el método de aislamiento es utilizado en todas las disciplinas científicas y, de hecho, en todo el pensamiento humano. Además, considera que las nociones idealización, abstracción y aislamiento se usan como sinónimos pero, en el desarrollo de su trabajo, el aislamiento es la idea central y la abstracción es una categoría de éste que aísla lo universal a partir de ejemplos particulares. Las idealizaciones y omisiones, a su vez, son las técnicas para la generación de aislamientos. Las idealizaciones son falsedades realizadas de manera deliberada que pueden subestimar o exagerar los extremos absolutos.

Los modelos se basan en un conjunto limitado de elementos que se supone es aislado de la participación o la influencia del resto del mundo. Se utiliza para excluir e incluir diversos temas en la realidad social con el propósito de comprender, por ejemplo, los fenómenos económicos. Así, la metodología de construcción de modelos que trazan el comportamiento de los agentes perfectamente racionales en entornos idealizados se basan en la premisa de que tales modelos, si bien limitados, ayudan a aislar las tendencias, es decir, los efectos independientes y estables de las causas económicas que se pueden utilizar para explicar y predecir los fenómenos económicos.

La idealización es una cuestión de eliminar factores y se logra cambiando las características o propiedades particulares. Ésta también puede hacer referencia a una variable en su valor límite. En economía, se podría representar los pueblos como puntos en la geografía económica.

Las idealizaciones de Galileo son las que implican distorsiones deliberadas. Los físicos construyen modelos que consisten en partículas que se mueven por planos inclinados sin fricción, utilizan resortes perfectamente elásticos, postulan cuerpos perfectamente esféricos, entre otros. La ciencia utiliza la aproximación de Galileo cuando es necesario hacer simplificaciones de este tipo siempre que sea una situación muy complicada de abordar. Por esta razón, McMullin (1985) se refiere a este tipo como "idealizaciones galileanas".

Según Hanson (1958), el problema de Galileo fue ¿por qué el movimiento cesa? En contraste con Aristóteles, quien creía que un continuo actuando como causa —es decir, la fuerza— era necesaria para mantener el movimiento horizontal de un cuerpo con velocidad uniforme, Galileo predijo que si un balón perfectamente redondo y suave rodara a lo largo de una superficie perfectamente horizontal, nada detendría la esfera —suponiendo que no hay resistencia del aire—, por lo que seguiría rodando para siempre. Galileo, sin embargo, no contaba con los medios para demostrar que Aristóteles estaba equivocado, por lo que acudió a una pregunta epistemológica: ¿Qué haría detener el cuerpo? Así, el descubrimiento de Galileo de la ley de la caída libre condujo más tarde a un modelo constructivo general de la caída de los cuerpos, que su forma moderna puede ser representado por:

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 + S_0$$

Con el fin de "demostrar" el modelo de caída libre, Galileo debería haber presentado evidencia empírica a sus contemporáneos demostrando que los cuerpos de distinto peso —pero del mismo material— alcanzan la misma velocidad. Si el experimento mítico de la torre inclinada de Pisa se hubiese llevado a cabo, se habría demostrado que Galileo estaba equivocado, pues las hipótesis de simplificación no se cumplen y se hubiera rechazado el modelo. La prueba empírica directa del modelo idealizado de Galileo no es posible, así que utilizó el experimento del plano inclinado para mostrar que a medida que aumentaba el ángulo de incidencia, la aceleración de objetos rodando por un plano

inclinado se acercaba cada vez más a un constante, aproximadamente  $9.08 \text{ ms}^{-2}$  —igual a la aceleración en caída libre—.

McMullin (1985) considera que esta manipulación de las variables es una característica importante de la idealización de Galileo. El paso de la complejidad de la naturaleza al especial orden artificial del modelo es una forma de idealización. La diversidad de las causas que se encuentran en la naturaleza se reducen y la situación se vuelve manejable. La influencia desde los impedimentos, es decir, los factores causales que afectan al proceso de estudio, no es un asunto de interés y por lo tanto se eliminan o disminuyen, de tal manera que puedan ser ignorados, que se hace importante la refinación progresiva de la descripción matemática para aproximarlos al comportamiento empírico del mundo real.

Las idealizaciones de Galileo parecen estar sujetas a acertijos, pues es necesario dar respuesta a preguntas como: ¿Cómo un modelo de distorsión nos informa acerca de la realidad? ¿Cómo podemos probar su precisión? Para esto, Laymon (1991) asume las idealizaciones como límites ideales. Así, cuando se aborda una situación experimental, es necesario postular una serie de refinamientos experimentales con aproximación a un postulado límite, de tal manera que el uso de tales supuestos simplificadores actúen como catalizadores en el proceso de derivar predicciones comprobables de los modelos. Esto exige que cuanto más cercanas estén las propiedades de un sistema al límite ideal, su comportamiento es más cercano al del límite ideal —monotonía—. Pero estas condiciones no siempre están dadas, así que no es claro cómo se entienden las situaciones en las que los límites ideales no existen. Podemos, al menos en principio, producir una serie de mesas que son cada vez más lisas, pero no podemos obtener una serie de sistemas cuánticos donde la constante de Planck sea cero. Esto plantea la cuestión acerca de la posibilidad de hacer el modelo idealizado más realista a través de un mayor número de idealizaciones, pero es necesario recordar que éstas son distorsiones de la realidad, pues corresponden a situaciones no posibles; sin embargo, tiene un uso generalizado en la ciencia, y se utilizan con frecuencia para comprobar la veracidad de los modelos.

Las idealizaciones de Galileo y Aristóteles no son mutuamente excluyentes. A menudo se unen, como en el caso del modelo planetario, donde solo se tiene en cuenta un

conjunto limitado de propiedades y de idealizaciones, pues se asumen los planetas como esferas ideales en rotación y con una distribución de masas simétrica.

A partir de las consideraciones realizadas por Gibbard y Varian (1978), las idealizaciones de Aristóteles y de Galileo se pueden denominar “modelos caricatura”. Los modelos caricatura intentan hacer comprensible una realidad exagerando deliberadamente los aspectos que se quieren resaltar de ella, llegando incluso a distorsionarla, con el fin de que el impacto que produzcan en quien los aborde lo lleve necesariamente a una comprensión más profunda de los aspectos relevantes y envíe a un segundo plano los aspectos que el investigador considera que son accesorios o secundarios. También lo son en el sentido de que los ingredientes de una caricatura deben ser tomados de la realidad correspondiente. Un ejemplo clásico es el modelo de Akerlof's del mercado de automóviles usados (1970). Este hace la descripción de casos extremos que proceden de una tendencia en el mercado real de coches de segunda mano. También explica la diferencia de precio entre los autos nuevos y usados exclusivamente en términos de asimetrías de la información, que es una propiedad de dicho mercado, sin tener en cuenta los demás factores que pueden influir en los precios de los automóviles.

En lugar de ser lo suficientemente holístico como para analizar en ellos los fenómenos objeto de estudio en toda su totalidad o en un grado generalidad significativa, los modelos aludidos suelen referirse a un tipo de casos muy específicos con el fin de ilustrar fenómenos en alguna de sus manifestaciones particulares. Los propios modelos o situaciones a los que el modelo se refiere suelen estar elegidos y presentados como ejemplos específicos, como instancias particulares del fenómeno general estudiado que lo ilustrarían de un modo especialmente prototípico o familiar.

Sin embargo, es controvertido si este modelo altamente idealizado puede ser considerado como una representación de su sistema de destino. En este punto vale la pena mencionar una idea que parece estar estrechamente relacionada con la idealización o la aproximación. Aunque los términos se utilizan a veces indistintamente, hay una diferencia sustancial entre los dos.

Las aproximaciones se abordan en un contexto matemático. Un ente matemático es una aproximación de otro, si es similar y en algún sentido pertinente, lo que significa que puede variar de acuerdo a las condiciones que fueron dadas. A veces, por ejemplo, se

quiere aproximar una curva a otra. Esto sucede cuando se expande una función en una serie de potencias y solo se mantienen los primeros dos o tres términos. Redhead (1980) considera que se puede aproximar una ecuación a otra dejando alguno de los parámetros de control con tendencia a cero. El punto más relevante es que la cuestión de la interpretación física no es necesaria. A diferencia de la idealización de Galileo, que implica una la distorsión de un sistema real, la aproximación es una cuestión puramente formal. Esto, por supuesto, no implica que no pueda haber relaciones de interés entre las aproximaciones y la idealización. Por ejemplo, una aproximación puede justificarse al señalar que es el “pendiente matemático” a una idealización aceptable —por ejemplo, se rechaza un término disipativo en una ecuación de movimiento de un fluido cuando se ha hecho la hipótesis idealizada que no hay rozamiento—.

Los modelos idealizados tienen otras muchas aplicaciones útiles pues, en general, liberan de distracciones las condiciones de las aplicaciones, donde estas son tácitamente entendidas o pueden ser ignoradas.

### ***2.2.3 Modelos como razonamiento sustitutivo***

Swoyer (1991) propone la noción de razonamiento surrogativo: la representación estructural nos permite dar razón sobre una representación con el fin de sacar conclusiones acerca de las cosas que representa. Al examinar el comportamiento de un modelo a escala de una aeronave en un túnel de viento, podemos sacar conclusiones acerca de nuevo diseño de ala que dé respuesta a la cizalladura del viento, en lugar de llevarla de realizarla en un Boeing 747 en Denver. Mediante el uso de números para representar las longitudes de los objetos físicos, podemos representar los hechos acerca de los objetos de forma numérica, realizar cálculos de varios tipos, y a continuación, traducir los resultados de nuevo en una conclusión acerca de los objetos originales. En estos casos, cuando se utiliza un tipo de cosa como un sustituto en nuestro pensamiento sobre el otro, voy a llamarlo razonamiento surrogativo.

Explicada por Contessa (2007), tomando como referencias el logotipo y un mapa del metro de Londres, considera que ambos se pueden tomar para representar la red este transporte de la ciudad. Sin embargo, el mapa del metro lo representa en un sentido

epistémico, puesto que es un papel. La red del metro es un sistema intrincado de rutas, túneles, vías y andenes. Sin embargo, los usuarios normales del mapa —y de la red— con frecuencia realizan inferencias sustitutivas de un objeto, en este caso, del mapa a la red, es decir, se puede, según Contessa (2007), “inferir conclusiones acerca de la red con hacer una revisión del mapa. Si A y B son dos objetos distintos, una inferencia de A a B es sustitutiva y solo si, la premisa de la inferencia es una proposición acerca de A y la construcción de la inferencia es una proposición acerca de B”. La idea intuitiva detrás de la noción de inferencia sustitutiva es que esta es válida solo si está de acuerdo con un conjunto sistemático de normas que no son dependientes de quien las aplica o de las circunstancias, sino que un representans es una representación epistémica de un objetivo determinado para un cierto usuario si y solo si el usuario es capaz de realizar inferencias sustitutivas del vehículo hasta el destino.

Otro enfoque reciente sobre la naturaleza y el funcionamiento de los modelos económicos son los modelos como construcciones creíbles. Mientras que el enfoque construccionista los trata más bien como construcciones o entidades ficticias que tienen la posibilidad de realizar diferentes tipos de deducciones, la perspectiva constructivista está orientada a la forma en que realmente se puede adquirir conocimientos a través de ellos.

Sudgen (2000) considera los modelos como construcciones dispuestas a hacer afirmaciones empíricas del mundo real. Un constructor de modelos puede hacer inferencias inductivas sobre la base de sus modelos. Comúnmente se hacen inferencias inductivas a partir de una parte conocida del mundo a otra, considerando, por ejemplo, que el mercado de vivienda en una ciudad se asemeje a otros. También es posible deducir de los modelos teóricos a los sistemas reales. De esta manera, el modelador construye ciudades imaginarias, cuyo funcionamiento se puede fácilmente entender a partir de las inferencias sobre los procesos causales que podrían aplicarse a auténticas ciudades multiétnicas. Estas posibilidades se justifican porque es posible construir modelos relevantes como ejemplos de algunas categorías que existen en el mundo. Para que sea posible, es necesario aceptar que el modelo describe un estado de cosas que son creíbles dado el conocimiento que se tiene del mundo y, al hacerlo, se puede considerar realista en el sentido de una novela. Partiendo que los personajes y los lugares en la novela pueden ser

imaginarios, es posible hallar cierta credibilidad en el sentido de que algunos eventos que son el resultado de personas que se comportan como lo describe la novela.

#### ***2.2.4 Modelos como explicaciones***

Las explicaciones se asumen como elaboraciones de los individuos comprometidos con una manera particular de ver el mundo (representaciones) y, además son reconocidas como significativas por una determinada comunidad acorde a valores, juicios y procesos de validación, desde los cuales proyectan la actividad científica. La comunidad influye decididamente en el desarrollo de determinadas línea de pensamiento científico.

Los modelos se elaboran al interior de las comunidades científicas a partir de criterios determinados, que permiten a los miembros de la comunidad científica darle o no validez. Estos criterios están definidos por los estados deónticos como lo expresa Brandom (1994). Estos se constituyen en consensos que terminan circulando en los contextos culturales dando una legítima explicación y delimitación a los significados dados a los fenómenos.

Un modelo contribuye a la validación de las explicaciones, en el sentido, que permite refinar las afirmaciones, realiza actividades de comprensión que van más allá de las descripciones, precisa los fenómenos ámbitos de conocimiento, hace representaciones de los fenómenos a partir de las inferencias de los agentes y las valoraciones que sobre ellos se establecen socialmente.

Esto se aleja de la concepción de explicación planteada por Hempel (1976), quién consideraba que para explicar un fenómeno era necesario adecuarlo por medio de leyes a condiciones ya conocidas, es decir, es necesario quitarle su valor de anomalía para ubicarlo en un terreno de lo conocido. A partir de era posible analizarlo y darle una interpretación desde la predicción basada en las leyes. Los modelos explicativos estan ligados a teorías científicas. Como dice Hempel (1976) “si se quiere que tengan algún valor, deben mostrar una analogía: las leyes básicas que sus principios internos especifican para las entidades y procesos teóricos deben ser análogas a algunas leyes conocidas”.

La construcción de modelos en la búsqueda de explicación posee un telón de fondo determinado por lo que el sujeto está comprometido a hacer y explicar, que no es otra cosa que el resultado de su uso.

Esta revisión de los tipos y funciones de los modelos en la ciencia demuestra que son demasiado diversos para que haya una noción unitaria que abarque a todos, y mucho menos que puedan ser confinados en una teoría formal como una camisa de fuerza.

### **2.3 Recapitulación**

El renovado interés por el estudio de los modelos se manifiesta en la enorme cantidad de publicaciones que van más allá del análisis y el establecimiento de taxonomías acerca de los variados usos, funciones, naturaleza, y se dirigen hacia consideraciones sobre su papel en la práctica científica, tal como se describe en este capítulo de la tesis.

Los modelos, de acuerdo a la revisión que se ha presentado, pueden ser interpretados como objetos diversos y variados —mapas, mundos, experimentos, objetos, construcciones sociales, y así sucesivamente—, y la mayoría de estas interpretaciones dan cuenta de sus principales características sin que haya necesariamente una mutua contradicción. Es indiscutible que los modelos no constituyen algo así como un “reino natural”. La elección de cada uno de los aspectos que caracterizan a los enfoques sobre los modelos científicos es, en cierto modo, subjetivo y solo puede ser justificado en la medida que contribuyen a dilucidar el resto de los aspectos pertinentes. Tomando como referencia la revisión presentada en este capítulo, la interpretación asumida para abordar los capítulos siguientes de esta tesis es que los modelos científicos son, básicamente, un tipo de artefacto (Knuuttila 2005). Y de manera particular, son instrumentos para el razonamiento surrogativo (Swoyer 1991), acogiendo la propuesta de Donato y Zamora (2009). Esto lleva necesariamente a retomar la función inferencial de las representaciones científicas, que fue expuesta en el capítulo I.

La elaboración de modelos, relativamente independientes entre sí y que permitan expresar coherentemente los datos empíricos, ha tenido una creciente importancia filosófica, en la que se destaca el problema de las relaciones entre modelos y la realidad, el problema de la evaluación y, la interpretación ontológica y epistemológica de los modelos científicos. La mayoría de los trabajos se han centrado en la concepción semántica, demostrando que se pueden abordar aspectos interesantes con una economía de medios formales, pues se habla directamente de las estructuras, de los modelos de las teorías en lugar de formulaciones lingüísticas. Sin embargo, trabajos recientes como los de Donato y Zamora (2009) han insistido en hallar puntos de contacto entre la tradición

semántica y, los estudios metodológicos y epistemológicos orientados desde aspectos pragmáticos de la investigación científica, donde el interés principal es comprender las decisiones de los científicos. Según Zamora (2006), “si consiguiéramos mostrar razonablemente esta naturaleza pragmática —en el fondo— de los conceptos semánticos, utilizados habitualmente en el análisis de las teorías científicas, la conexión de la tradición semántica, con la tradición pragmática ocurriría de manera más fácil”. De esta manera, los hechos y propiedades semánticos no se consideran primarios en relación con los aspectos pragmáticos, así la “fundamentación pragmática de la semántica” permite buscar herramientas cognitivas que den cuenta del conocimiento y acción, como las propuestas por el filósofo del lenguaje Brandom (1994).

La búsqueda de un proceso por el cual un enunciado científico es aceptado en una comunidad investigadora se utiliza para abordar el proceso de construcción de modelos y pruebas. Así, comprender un significado consiste en ser competente, en primera instancia, para ofrecer razones que justificarían su aceptación y, por otro lado, para extraer las consecuencias que se seguirán de su aceptación. Es decir, cuando un agente comprende un enunciado, es equivalente a dominar las inferencias en las que este puede funcionar ya sea como conclusión o premisas. Trasladado al proceso de construcción de modelos, esto se refiere a la idea que las acciones humanas están estructuradas y motivadas por los estados deónticos de los agentes en términos de lo que están comprometidos a hacer.

Los argumentos a favor de las dos opciones tomadas —modelos como artefactos epistémicos que permiten el razonamiento surrogativo desde una formulación pragmática de la semántica— sobre el uso de los modelos científicos se hará en el siguiente capítulo.

# CAPÍTULO III

## FORMULACIÓN PRAGMÁTICA DE LA SEMÁNTICA APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

### INTRODUCCIÓN

Entender cómo los modelos permiten la aprensión de los procesos de construcción y manipulación, a partir de la Pragmática normativa de Brandom (2002a) es fundamental para comprender cómo una afirmación científica es aceptada por la comunidad. Tomando como referencia la propuesta de Donato y Zamora (2009), se pretende encontrar las condiciones que den cuenta del uso y la evaluación de modelos.

En la sección 3.1 “El fenómeno de lo pragmático- normativo” se busca describir los elementos esenciales del modelo inferencialista de Brandom. Las normas implícitas en la práctica social se constituyen en las reglas para entender como el razonamiento práctico lleva a la acción.

La sección 3.2 “Teoría Pragmática de los modelos científicos” busca establecer la normatividad que es esencial en la construcción y uso de los modelos. Partir de una teoría de lo intencional desde la perspectiva de Brandom (2002a), proporciona un andamiaje que da cuenta de una teoría de lo intencional que involucra la noción de aceptabilidad. Identificar las características más importantes en la construcción modelos que permitan la sistematización de las inferencias aceptadas en relación a su uso, se constituyen en elementos para identificar un buen modelo.

En la sección 3.3 “Virtudes de los modelos” mediante la definición de una serie virtudes se pretende justificar la aceptación y el éxito de los modelos. Tener como referencia la intencionalidad de los agentes, sus condiciones particulares de producción representacional y factores sociales y culturales exige la formulación de criterios por parte de la comunidad científica para juzgar la bondad de estos.

En la sección 3.4, apoyar la “construcción de modelos” desde un punto de vista pragmático, resalta el papel de las idealizaciones y concretizaciones. Esto resulta ser una

herramienta útil en sí, pues permite que inferencias contrafácticas tomen un lugar esencial para dar cuenta de los “grados de contingencia”, que permiten dar cuenta de las condiciones jerarquizadas bajo las cuales los modelos reflejan un ideal de representación.

En la sección 3.5 se expone la “Función de los modelos idealizados” para establecer las condiciones bajo las cuales se aceptan de los modelos. La deformación contrafáctica y la comprensión de las habilidades inferenciales por parte de los agentes parecen dar cuenta de su credibilidad.

Partir de los elementos de la Pragmática de Brandom resultar útil cuando se quiere hablar de la construcción de modelos, pues permite definir criterios en un ámbito más amplio donde la intencionalidad de los agentes posibilita definir propósitos en la actividad de modelado.

### **3.1 El Fenómeno de lo Pragmático-Normativo**

El punto de partida de Brandom (2002b) es considerar el papel de las normas inferenciales, y comprender las representaciones en términos de inferencias. Presenta lo que él llama una semántica inferencialista, es decir, la tesis según la cual un contenido conceptual —que equivale al significado— de los enunciados es fruto de su función en la inferencia. Es decir, el significado no es previo a su aplicación en el discurso dentro de un orden causal. Así, la relación entre las proposiciones normativas y la acción no es sino un caso especial de esta relación entre lo conceptual y lo práctico. De esta manera, el significado de los contenidos es una función de su uso — inferencial— en el lenguaje.

La intención de hacer explícito la forma en que el uso constituye el contenido cognitivo de las expresiones permite vincular la dimensión funcional del lenguaje y su contenido cognitivo. La teoría del significado propuesta por Brandom resalta la correspondencia entre la inferencia materialmente correcta con un conjunto de usos o prácticas discursivas. De esta manera, la noción de compromiso discursivo o de responsabilidad discursiva no solo pone límites a la noción de contenido conceptual o cognitivo como requisito para entender la dimensión normativa que está ligada a la comunicación lingüística. De esta manera, no se limita al contenido proposicional de las aseveraciones

sino que se extiende al conjunto de los actos de habla que se llevan a cabo mediante el lenguaje.

Brandom (2002) considera en su enfoque que el lenguaje y su relación con el mundo se destina a que los agentes están plenamente informados de las prácticas de dar y pedir razones. Esta normatividad está conceptualmente ligada a la conducta de los usuarios del lenguaje frente a los patrones asociados a las prácticas lingüísticas. Además, el contenido de algunas expresiones se manifiesta en las consecuencias prácticas que tienen en las acciones, así, lo que los seres humanos hacen con el lenguaje es intencional.

Como las acciones humanas son intencionales, cuando se describe y explica los elementos a través de los cuales se dan significado a las acciones y como estos son comprendidos por otros agentes hacia quienes se dirigen estas, es posible el establecimiento de convenciones, es decir, de los significados que en una cultura tiene la realización de una acción.

La noción de compromiso discursivo o de responsabilidad discursiva corresponde a una dimensión normativa general que impregna la comunicación lingüística. Como lo expresa Brandom (2002a): “la actitud práctica de tratar a algo, a partir de asumir compromisos y siendo responsable por lo que hace —en la razón de estar articulado por conceptos—, esto es, el sentido en el cual al menos parte de aquello a lo que uno está comprometido o frente a lo que es responsable o es capaz de dar razones”. La información obtenida por un agente fiable en el juego inferencial de dar y pedir razones es entendido como un mensaje normativo del mundo.

Una teoría de lo intencional implica una noción de aceptabilidad de aquellos actos que llevan a adoptar ciertos estados intencionales —por ejemplo ciertas inferencias— y a la realización de ciertas acciones como ‘normas implícitas en prácticas sociales’. Cuando se dice que un agente actúa de acuerdo a la concepción de reglas, se asume que actúa de acuerdo a su comprensión de las mismas. Así, lo que obliga a un agente a actuar de cierta manera no es la regla en sí misma sino su conocimiento de ella. Las acciones involucran actitudes socialmente articuladas y desplegadas en un contexto deóntico, es

decir, apelando a cierto tipo de prácticas que permite a los agentes ejecutar confiadamente y evaluar las acciones socialmente estructuradas que las instauran.

La corrección o aceptabilidad de estas prácticas están conceptualizadas en relación con estados intencionales como deseos, creencias, etc. del sujeto cognoscitivo; y se consideran como fundantes o básicas puesto que el resto de la vida intencional y lingüística del agente, así como de la normatividad asociada a estos dos factores, deben explicarse en términos de esas prácticas.

Según Brandom (2002b), ubicar la dimensión normativa en una perspectiva social significa distinguir entre lo que se debe hacer y lo que se cree que se debe hacer, lo que requiere distinguir entre lo que es apropiado —o inapropiado— y las actitudes hacia ello. Las acciones que involucran tales actitudes son explicadas apelando a ciertas actitudes prácticas —no teóricas— socialmente articuladas y desplegadas en un contexto deóntico, es decir, apelando a cierto tipo de prácticas, en término de responsabilidades y obligaciones.

Las “normas implícitas en prácticas” dan cuenta de la normatividad recurriendo a prácticas en el ámbito de lo lingüístico y lo intencional, lo que permite hablar de un tipo de aceptabilidad práctica para hacer distinciones entre lo que es apropiado y lo que no es apropiado. Así lo expresa Brandom (2002b): “lo apropiado gobernado por reglas explícitas descansa en lo apropiado gobernado por prácticas. Normas que están explícitas en forma de reglas presuponen normas implícitas en prácticas”.

El argumento general que se presenta en esta tesis no requiere profundizar en la manera en que Brandom elabora en detalle toda su teoría. Para la argumentación que sigue basta con adoptar las siguientes tres ideas, que permiten aplicarla a la evaluación de modelos, según Donato y Zamora (2009):

- La comprensión de los significados de las expresiones lingüísticas a través de enlaces inferenciales que cada expresión tiene con las otras es lo que les permite servir como representación
- Las acciones humanas son entendidas y motivadas por las acciones deónticas de los agentes en términos de lo que están comprometidos o tienen derecho a hacer.

- Los estándares implícitos en las prácticas permiten a los agentes ejecutar confiadamente y a evaluar las acciones socialmente estructuradas que las instituyen.
- No son las propiedades semánticas de la lengua las que define lo que los agentes pueden hacer con ella, sino a la inversa.

Como punto de partida relevante, los compromisos doxásticos, es decir, los compromisos pragmáticos referidos a la intervención y la predicción, son fundamentales para el análisis de los modelos científicos y las representaciones. Sin embargo, esto no supone ocultar el hecho de que el valor de un determinado conjunto de compromisos y un sistema de normas inferenciales depende esencialmente de la eficiencia con la que los compromisos de las dichas acciones y normas ayudan a satisfacer las metas del agente.

### **3.2 Teoría Pragmática de los modelos científicos**

La capacidad de construir modelos presupone la posibilidad de hacer inferencias, de tal manera que la sistematización de las inferencias que son aceptadas referentes a su uso hace posible la aprobación de éste. Un modelo es la representación del conjunto de regularidades cuyas experiencias intersubjetivas<sup>35</sup> constituyen la base de las inferencias que una comunidad científica considera obligatorio asumir si se quiere usar un modelo.

---

<sup>35</sup> La intersubjetividad enfatiza que la cognición compartida y el consenso son esenciales en la formación de nuestras ideas y relaciones. De esta manera, los agentes son capaces de usar conceptos, no solo porque tienen una formación específica como científicos, sino porque son personas normales cuya lengua materna se ajusta a las capacidades de su percepción natural. Como profesionales de la ciencia deben aprender a entender y percibir las cosas de manera radicalmente diferente, pero esto sería imposible si tuvieran que pasar por alto su lenguaje natural y los supuestos del sentido común.

En el estudio de las teorías científicas actuales, los agentes hacen uso de las redes de inferencias y supuestos que pertenecen al lenguaje común —esto no corresponde a un conocimiento pre-científico sino que en la identificación de las especificidades de los modelos es necesaria la conexión entre los conceptos científicos y las prácticas lingüísticas ordinarias—. El conocimiento científico se basa en el sentido común, aunque el primero puede servir para corregir este último cuando se demuestra que algunas suposiciones de sentido común puede dar lugar a contradicciones.

Una vez que un modelo es construido mediante un conjunto de esquemas de inferencia, los científicos pueden hacer infinitas consideraciones nuevas usándolos. Estas afirmaciones no se dan solo en función de su construcción sino que contienen aquellas regularidades que son asumidas obligatoriamente si se quiere estar en condición de usarlo. Un "buen" modelo científico constituye sencillamente la sistematización de las creencias que conducen a resultados satisfactorios, o a los mejores resultados del comportamiento más o menos regular de las percepciones integradas a su experiencia intersubjetiva más habitual.

Es importante tener en cuenta la diferencia entre aquellas regularidades que se deben asumir por el uso de los conceptos con los que está construido el modelo y, por otro lado, las otras regularidades que el modelo propone y que cierto sistema obedece. Zamora (2003b) propone, para ilustrar esta diferencia, un ejemplo del uso del concepto "de color". Cuando un agente 1 afirma que algo es de color rojo y, también reconoce implícita o explícitamente, que puede ser de color verde, otros agentes pueden concluir que agente 1 no se ha entendido adecuadamente el uso del término "de color". De esta manera, hasta que el agente 1 no haya aprendido que "si un punto es rojo, no es azul", o "si se ven dos cosas con el mismo color, nadie los verá con colores diferentes", no tiene el derecho a comprometerse con afirmaciones que emplean los términos de color, pues son las obligaciones sociales que las subyacen en el uso de un término. Esto tiene dos implicaciones importantes: en primer lugar, los agentes tienen que aprender algunas regularidades empíricas con el fin de convertirse en un jugador de cualquier juego de lenguaje; en segundo lugar, estas regularidades deben ser "públicas" con el fin de que todos los agentes acepten las mismas reglas. Solo hasta que haya un conjunto de regularidades en el que los hablantes de una lengua puedan establecer conexiones e inferencias entre algunas afirmaciones y otras, el juego del lenguaje puede comenzar.

Utilizar un concepto implica dominar las prácticas inferenciales asociados a éste. Estas prácticas inferenciales se basan —aunque no de manera infalible— en algunas regularidades percibidas públicamente, que dependen también de las capacidades de percepción. Los conceptos tienen un significado empírico si permiten que los agentes perciban regularidades. Los conceptos se usan para identificar los tipos de sistemas, por lo tanto, si algunas regularidades se han encontrado esto permite una clasificación de los sistemas empíricos.

Comprender el significado de un concepto implica ofrecer razones que justifiquen la aceptación de las sentencias que esta expresión produce, así como de extraer conclusiones adecuadas a partir de éstas. Dicho de otra manera, comprender un concepto equivale a dominar su papel en el juego de dar y pedir razones. El concepto está ligado a la noción de comprensión. Un agente entiende un concepto por su rol inferencial, es decir, por las deducciones. Esto permite hacer la conexión entre lo abstracto de las teorías científicas y la experiencia perceptiva.

Esto supone un importante avance en la dinámica de la construcción de modelos, pues las acciones nuevas conducen a acontecimientos nuevos y las interacciones con otros agentes generan nuevas percepciones, y así sucesivamente, los compromisos y las normas evolucionan. Esto conlleva a que las normas de las inferencias y los compromisos cambien no de una manera natural mediante procesos de selección sino de acuerdo a los objetivos prácticos de las acciones de los agentes. De acuerdo con estas consideraciones, un modelo, según Donato y Zamora (2009), consiste en un “conjunto de compromisos doxásticos y normas inferenciales interconectadas, algunas de estas explícitas en las normas oficiales y otras en las prácticas de los agentes”.

En la elaboración de una teoría pragmática de los modelos científicos se debe considerar el sistema de creencias y compromisos compartidos por los agentes, los cuales asumen una serie de compromisos frente a la construcción y uso de los modelos. Esta serie de compromisos evolucionan de acuerdo a las normas de inferencia que de manera tácita o explícita han sido aceptadas en la comunidad a la cual pertenecen los agentes. Las normas indican la clase de reclamaciones y acciones que se tienen según los compromisos o de acuerdo a la realización de determinados eventos.

De esta manera, las tres características asociadas a una teoría pragmática de los modelos, según Donato y Zamora (2009), deben considerar, en primer lugar que la adición de un modelo en el conjunto de los compromisos de los agentes obliga a aumentar la proporción de las inferencias exitosas frente a aquellos que no la tienen. Como los modelos se consideran sistematizaciones de esquemas inferenciales y además estos se utilizan para que los agentes construyan nuevos modelos cuyos compromisos proceden de diversas rutas inferenciales; en ocasiones no es fácil lograr una coherencia

entre los objetivos prácticos de las acciones. Esto se debe en parte, a los compromisos previos procedentes de fuentes independientes, así como a la utilización de normas inferenciales falibles como la inducción, la abducción y la inferencia a la mejor explicación. De esta manera, no hay ninguna garantía de que el trabajo de un agente que hace uso de todo su potencial inferencial conlleve a conclusiones que sean lógicamente consistentes entre ellas.

En segunda instancia, el modelo también debe aumentar el número y la variedad de las inferencias que se pueden obtener de los compromisos del agente. Esto no solo implica que las pautas de desarrollo de los modelos, reflejado en la adición de otros nuevos, deberían tener consecuencias lógicas sino que en algunos casos es primordial anudarlas de los compromisos anteriores. De ahí la importancia de la experiencia en la construcción de los modelos, pues es mediante la manipulación y uso que los agentes pueden llegar a la comprensión, lo que permite entender su disposición causal o geométrica a favor o en contra para que los nuevos modelos formen parte de su red inferencial y sirvan como representación. Así lo expresa Brandom (2002b):

Saber cómo hacer algo es una cuestión de habilidad práctica. Saber cómo es solo ser confiablemente hábil. Por tanto uno sabe cómo andar en bicicleta, aplicar un concepto, trazar una inferencia y cosas por el estilo, solo en el caso de que uno pueda discriminar en la práctica, en las acciones que uno produce y evalúa, entre formas correctas e incorrectas de hacer estas cosas.

La actitud de tomar uno mismo su propia actuación como apropiada o inapropiada en una determinada situación y la de tomar la actuación de otro como apropiada o inapropiada, en esa situación, no se pueden dar la una sin la otra, ya que 'evaluar' en este contexto es tratar las acciones propias o ajenas como correctas o incorrectas de acuerdo a cierta práctica.

En tercera instancia, debería ayudar a hacer mínimo los costos cognitivos en la elaboración de las consecuencias ya sean doxásticas o prácticas, para sacar a la luz, afirmaciones explícitas, inferencias implícitas, permitiendo así su análisis y justificación.

Se pueden aplicar estas tres características a los modelos de posicionamiento global<sup>36</sup>. Estos sistemas hacen uso de los principios de la Teoría Especial de la Relatividad. El primero afirma que el tiempo transcurre más lentamente cuanto mayor sea la velocidad a la que se desplace un móvil. El fenómeno no es apreciable dadas las condiciones actuales de desarrollo tecnológico, pero sería significativo si se alcanzan velocidades cercanas a las de la luz<sup>37</sup>. El segundo principio está relacionado con la incidencia del campo gravitacional sobre el tiempo. Dada que la tierra no es esférica, a menor atracción del campo gravitatorio, el tiempo transcurre más deprisa.

Considerando la primera característica, en la adición de un modelo en el conjunto de los compromisos de los agentes, obliga a aumentar la proporción de las inferencias exitosas frente a aquellos que no la tienen. Un usuario que utiliza un receptor de posicionamiento global se pone en contacto con 4 de los 24 satélites pertenecientes a la red GPS que están situados en una órbita a 20.000 kilómetros de distancia de la tierra. Tres de estos cuatro satélites, por un sencillo cálculo geométrico de triangulación con las señales recibidas, calculan la posición del automóvil. Aunque las señales enviadas y recibidas viajan a velocidades comparables a las de la luz, tienen una diferencia mínima que se debe calcular para que el resultado sea exacto. Esta es la función del cuarto satélite. Éste ajusta con exactitud la hora del reloj del sistema de posicionamiento, haciendo uso de un reloj atómico. Este es un sistema extremadamente exacto de medida, pues un reloj se atrasa una milésima de segundo cada 100.000 años.

---

<sup>36</sup> El GPS —Global Positioning System: sistema de posicionamiento global o NAVSTAR-GPS— es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

La antigua Unión Soviética construyó un sistema llamado GLONASS, operado actualmente por la Federación Rusa. Galileo es el sistema de posicionamiento por satélite de la Unión Europea. Beidou, es el sistema de navegación de la República Popular China.

<sup>37</sup> La famosa paradoja de los gemelos propuesto por Einstein “es un experimento mental que analiza la distinta percepción del tiempo entre dos observadores con diferentes estados de movimiento”. Como ejemplo, se podría aplicar al caso de un astronauta que pueda viajar al centro de nuestra galaxia en una nave a velocidades cercanas al orden de magnitud de la velocidad de la luz y al regresar a la tierra habrían transcurrido para él 60 años, mientras que para los habitantes del planeta habrían pasado 4 millones de años.

Parecería que el problema del posicionamiento es sencillo, pues basta con la triangulación de las tres señales y la sincronización entre el reloj atómico del satélite y el del sistema de posicionamiento para hallar la posición exacta del automóvil. Pero, no es tan fácil. Aun así, el cálculo fallaría por muchos kilómetros, pues con la manipulación y uso de los sistemas de posicionamiento los agentes pueden llegar a la comprensión de esta diferencia.

Como los satélites del sistema de posicionamiento global GPS orbitan a una velocidad de  $1.4 \times 10^4$  km/h (14.000 km/h), significa que el tiempo transcurre más despacio para ellos. Y como están a  $2 \times 10^4$  km (20.000 kilómetros) de la tierra, donde la atracción gravitacional es menor, el tiempo transcurre más rápido. Hallando la diferencia entre ambos fenómenos, los agentes calculan que el tiempo va a 39 millonésimas de segundo por día más despacio para los satélites que para las personas que están en la tierra.

Para los tiempos en los que nos movemos, no parece una diferencia muy grande. Pero, se debe considerar que este cálculo se usa para sistemas en los que la velocidad de las señales de los satélites  $3.0 \times 10^6$  m/s (300.000 km/s) es uno de los parámetros. Cualquier millonésima que se deje de lado multiplicada por esta cifra se transforma en un error que supondría un fallo de 11 kilómetros más cada día al calcular la posición del automóvil. Los instrumentos de los satélites, teniendo en cuenta los principios dados por la Teoría de la Relatividad y realizados por los agentes, ajustan automáticamente los cálculos, lo que permite una exactitud de quince metros. Algunos fenómenos como las interferencias de la atmósfera o las circunstancias climatológicas les impiden afinar al milímetro.

Como resultado del trabajo de los agentes, quienes han hecho un uso de modelos de la ciencia y la tecnología, se puede convertir en algo sencillo un asunto que en realidad es sumamente complejo. Así, cada vez que un usuario utilice un GPS y que este indique girar a la derecha o a la izquierda, hará mínimos esfuerzos cognitivos para comprender todos los principios teóricos y procedimientos de medición implicados en este modelo de posicionamiento global.

De acuerdo con estas funciones, los modelos deben ser contruidos para que cumplan estas características, así como una serie de virtudes que deben tener para que den razones y posibiliten extraer consecuencias de ellas.

### 3.3 Virtudes de los modelos

Donato y Zamora (2009) consideran que el éxito empírico de los modelos o representaciones debe estar en consonancia con la adecuación, la versatilidad, la ergonomía y la compatibilidad, lo que permite la extracción de inferencias, la conexión con otros modelos y la corresponsabilidad de las consecuencias obtenidas con las que se dan en el sistema real. Dentro de las propiedades que se constituyen en virtudes de los modelos están:

Su "tamaño" (el número de preguntas y respuestas). Su coherencia (especialmente entre los compromisos derivados de los demás y los derivados de la percepción. Su capacidad de administración (modelos como "prótesis de inferenciales" que permiten la elaboración de las muchas consecuencias cognitivas a un costo bajo). Su capacidad heurística para producir modelos nuevos y más fiables. Además, ¿qué lo hace un buen modelo? Aquí hay una lista de las virtudes posibles; Adecuación: las consecuencias obtenidas con su ayuda debe corresponder a las consecuencias que se derivan del sistema real (o, más exactamente, de otros canales inferenciales); Versatilidad: el modelo nos permite extraer inferencias a partir de diferentes tipos de afirmaciones sobre la representandum. Ergonomía: el modelo debe ser fácil de usar (manejable), al menos debe ser más fácil la extracción de inferencias directamente desde el sistema real, o de los principios teóricos). Compatibilidad: el modelo debe ser fácil de conectar, si es necesario, con otros modelos.

Ampliar el rango de estas virtudes de los modelos científicos es un propósito fundamental de esta tesis. Puesto que el éxito de los modelos depende de la intencionalidad de los agentes, las condiciones particulares de la producción representacional, los factores sociales y culturales, se deben buscar los criterios para juzgar la bondad de estos. Además, se debe considerar que no hay una fórmula para combinar de la mejor manera las virtudes que los modelos deben tener. Cada científico o comunidad científica tiene sus propias preferencias —que se constituyen en su sello de identificación—, estas se materializan en las normas inferenciales que cada grupo

tiene, lo que permitirá el establecimiento de patrones de inferencias que se consideran adecuados. Además, según Donato y Zamora (2009), los modelos son tipos de artefactos o “prótesis inferenciales”<sup>38</sup>; contruidos con la intención de sistematizar las experiencias de la realidad con el propósito de facilitar la intervención de la misma por parte de los agentes.

Todo el sistema de conocimiento está mediado a través de una red de inferencias y no existe una manera de distinguir entre el conocimiento inferencial obtenido "con la ayuda de la prótesis" y la que se obtiene sin ellos. Sin embargo, hay algunas prótesis que parecen ser más naturales que otras, porque dan la sensación de que utilizándolas se está "más cerca a la realidad". Así, el "grado de realismo" de un modelo o una teoría debe ser tomado como la percepción que nos da de "estar más cerca de la verdad". En muchos contextos, como en el caso de las simulaciones, los asuntos (representandum) son reemplazados por el soporte (representans).

Teniendo en cuenta la consideración de que los modelos científicos tienen un carácter inferencial, es necesario hacer un acercamiento a objetivos sobre el uso y la evaluación de estas herramientas cognitivas mediante la definición de una serie virtudes que permiten dar cuenta de su acción. Así, utilizando argumentos de la "Pragmática normativa", se parte que las acciones humanas — no solo las verbales— se entienden como estructuradas y motivadas por los estados deónticos de los agentes pues son ellos los que están comprometidos a hacer (Donato y Zamora 2009).

De este modo, el análisis de los modelos científicos y las representaciones debe estar orientado por los compromisos pragmáticos, Así, las intenciones del agente estarán en concordancia con estos compromisos y con el sistema de normas inferenciales, de tal manera que le permita una mayor eficiencia en las acciones.

Esto permite una evolución en el conocimiento, puesto que conlleva una cadena de acciones con otros agentes que posibilitan nuevos acontecimientos, nuevas

---

<sup>38</sup> Para Zamora (2010), la idea de “prótesis inferenciales” no se refiere solo a la capacidad de los modelos para permitirnos hacer “inferencias prácticas” —o sea, relativas a la manipulación de la realidad—. También se trata de que los modelos nos ayudan a extraer consecuencias lógicas a partir de los axiomas de una teoría; de muchas teorías es difícil sacar consecuencias — p.ej., predicciones—, a menos que introduzcamos condiciones especiales —p.ej., idealizaciones, simplificaciones [...]— que nos faciliten el cálculo, y esas “condiciones especiales” son las que constituyen un modelo.

percepciones, de tal manera, que se establece una dinámica entre inferencias y normas, y permite una mayor valoración de unas frente a las otras. Este proceso hace posible que las normas de éxito "sobrevivan y se reproduzcan", y se transfieran más fácilmente a otros agentes y situaciones frente a las de menor éxito, como lo expresa Zamora (2003a): "los científicos no solo valoran el hecho que sus propias teorías sean aceptadas, sino también el que lo sean por haber superado un umbral de calidad lo más alto posible [...]. Dicha función también dependerá del número de investigadores que decidan unirse a la comunidad científica". De esta manera, la elección no es de carácter mecánico sino que se establece por consenso.

Las estrategias inferenciales de tipo pragmático hacen posible según Brandom (2002), distinguir "entre inferencias buenas y malas, entendidas como una distinción entre acciones apropiadas e inapropiadas y procede luego a comprender lo que se dice sobre la verdad como algo que se preserva mediante los movimientos adecuados", esta consideración permite la elección de las acciones partir del uso, pues al hacer uso de un modelo se está respaldando un conjunto de inferencias que dan cuenta de las virtudes que este tiene. El respaldo implícito de estas inferencias se constituye en una clase de acción, que posibilita discriminar que sigue, qué vale como evidencia y qué no. Alcanzar ese conocimiento práctico y explicitar las inferencias que se están respaldando, consiste en ponerlo en la forma de una afirmación de que "las cosas son del o cuál modo".

Utilizar las representaciones producidas de manera práctica para indagar posibles respuestas en el entorno en el que se aplican, hace posible considerarlas como instrumentos para la acción. Ésta se asume como la producción o el impedimento de un cambio intencional en el mundo. Así, una vez obtenida la información adicional, la representación puede alterarse de manera conveniente, posibilitando una nueva acción. De esta manera, el carácter de bucle le da a la representación una proyección compleja, pues no solo se ve como modelo de algo, sino también que representa algo de manera adecuada. Esta interactividad permite un acercamiento al carácter plural de las representaciones. Estas consideraciones permiten identificar un modelo con una serie de compromisos de modificación de creencias interconectadas y normas inferenciales, algunos de éstas explícitas de manera formal o práctica.

La condición para elaborar una teoría pragmática de los modelos científicos es la búsqueda de relaciones más generales de esas "maneras de inferencia" dentro de una dinámica pragmática de tipo económico. Estas consideraciones complementan la propuesta presentada por Donato y Zamora (2009). En primer lugar, el establecimiento de un conjunto de estrategias inferencialistas le dan un carácter dinámico y creativo a la aplicación de los modelos, develando la tendencia a pasar del reconocimiento del valor explicativo de un modelo a la creencia de que se trata de buscar razones que justifiquen la probable verdad del modelo.

En segundo lugar, la comprensión de los mecanismos de verificación y validación permite a los agentes tomar decisiones a partir de las particulares condiciones dinámicas que descansan sobre heurísticas múltiples, es decir, la evaluación de las opciones, sus posibles consecuencias y las preferencias de las decisiones de los agentes se ponen de manifiesto en un mayor rendimiento de los resultados. Esto significa que si no tenemos una manera más fiable para determinar que conjuntos de modelos son los adecuados, se le debe otorgar una mayor probabilidad a los conjuntos de modelos con mayor verificación y coherencia.

En tercer lugar, las normas sobre las cuales los agentes deciden la dinámica de los modelos estarán mediadas por las acciones, lo que posibilitará cadenas de aceptación cuya misión es maximizar funciones de utilidad.

### ***3.3.1 Virtudes de los modelos desde un punto de vista pragmático inferencialista***

Se presentan a continuación algunas de las virtudes de los modelos que se adecuan a estos propósitos.

#### ***3.3.1.1 Verosimilitud***

La verosimilitud de un modelo, o sea el grado en que parece aproximarse a la realidad según Zamora (1994), solo puede juzgarse en su relación con lo que se sabe a propósito de la realidad. Aunque su referencia está en relación a la verosimilitud de teorías, en esta investigación se hace una adecuación al carácter inferencial de los modelos y a la consideración que son mediadores entre las representaciones y la realidad.

La verosimilitud es entendida en el enfoque metodológico como un "valor" que los científicos quieren perseguir, este valor puede introducirse también en un vector más amplio de valores que, perseguidos tanto por los investigadores individuales, como por los grupos más o menos amplios a los que pertenecen. Podríamos intentar analizar, de este modo, el "precio" de la ciencia, no en términos "globales", como el dinero que se invierte en cada programa de investigación, sino más bien en términos de la tasa de sustitución de la "verosimilitud" en relación con las otras cosas que los individuos valoran.

De esta manera, surge la pregunta ¿cómo darse cuenta que los modelos están suficientemente cerca a la realidad? Cuando los científicos están condicionados a elegir entre unas normas y otras —normas que especifican cuándo es un modelo mejor que otro, o cuando es mejor que antes—, prefieren aquellas que hacen que los modelos sean los más verosímiles.

Cuando un grupo de agentes imponen el compromiso de aceptar las normas a todos aquellos que deseen utilizar el modelo y si de dicho compromiso se buscan beneficios aceptando algunas consecuencias, entonces, la orientación de esta no solo está dada a partir de la estructura lógica sino también del agente que toma la decisión. Un ejemplo es la aplicación a las denominadas simulaciones experimentales que conllevan series de inferencias, lo que posibilitan la transformación de las estructuras teóricas en comprensiones de los sistemas físicos a partir de supuestos sobre la evolución temporal de un sistema.

La consideración de una máxima verosimilitud nos lleva a a la necesidad de la evaluación por parte de los agentes quienes determinan en qué condiciones se acepta un modelo, resultado de una serie de negociaciones y del establecimiento colectivo de normas que promueven la validez epistémica y pragmática (Zamora, 2003). En este sentido, el "grado de realismo" de un modelo o una teoría debe ser tomado como la sensación de "estar más cerca de la verdad" — básicamente, si sus predicciones se corresponden con las observaciones y sus supuestos son los que están firmemente comprometidos por diferentes razones—; en los contextos, la representandum es reemplazable por los representantes en la práctica.

La tendencia a pasar del reconocimiento del valor pragmático de un modelo a la creencia de que se trata de un “acercamiento a la verdad” continúa siendo un atractivo para los filósofos de la ciencia y resulta muy difícil no hacer referencia en algunas oportunidades, sin darse cuenta que trascienden los límites que ellos mismos han reconocido como sensatos. Sin embargo, autores como Rivadulla (2004) considera que “el éxito empírico de un modelo nada tiene que ver con la verdad, en particular, y no constituye en ningún indicador de verosimilitud ni de probabilidad de verdad”. De esta manera, se expresa que lo único que pretenden los modelos es salvar los fenómenos, como una manera de vincularnos exitosamente con la Naturaleza.

### ***3.3.1.2 Fiabilidad***

La fiabilidad como virtud de los modelos nos permite habitualmente utilizarlo en diferentes ámbitos, pues las regularidades establecidas por estos se cumplen aunque esto no necesariamente es una garantía de que esto ocurra. Winsberg (2001) argumenta que la validación y la verificación no son desagregables en la práctica y solo pueden ser separados por el agente con el riesgo de presentar una imagen distorsionada de lo que ocurre. Aunque éste hace todo lo posible para justificar los resultados de sus cálculos buscando un acercamiento a las soluciones de las ecuaciones originales, debido a la complejidad de los cálculos, las soluciones que ofrece el ordenador o los modelos computacionales —que son la base de las simulaciones—, representan correctamente el sistema de destino, estos argumentos son inevitablemente débiles y poco concluyentes, y da razón a lo expuesto por Winsberg donde la verificación se encuentra cerca de la validación en la práctica.

Hay ciertos tipos de técnicas de construcción de modelos que se consideran a sí mismas como fiables. Algunas de estas técnicas incorporan lo que se denomina a veces “falsificaciones” (Winsberg, 2006). Estas son contrarias a los principios que se incluyen en un modelo de simulación y cuya condición aumenta la fiabilidad de los resultados. La funcionalidad de las simulaciones basadas en algoritmos permite comprender el éxito empírico instrumental. Por ejemplo, la llamada viscosidad artificial. Este es un principio que se utiliza con éxito y de forma fiable a través de un amplio dominio de aplicaciones de la dinámica de fluidos, pero no ofrece ni siquiera una aproximación “realista” de los fluidos. La viscosidad artificial, por lo tanto, es un ejemplo contrario al

principio de que el éxito implica la verdad, un principio en la base del realismo científico. Es un ejemplo de fiabilidad sin verdad.

### ***3.3.1.3 Función de éxito de los modelos***

Entre las virtudes que se valoran en un modelo está la función de éxito, determinada según Zamora (2003a) por el grado de utilidad que logre alcanzar. Así, frente a un problema que se quiera abordar, una comunidad científica constituye sus redes de inferencia, centradas en la probabilidad de que este grupo proponga un modelo lo suficientemente robusto para superar el umbral de aceptabilidad frente a otras formulaciones. Esto permitirá un proceso de negociaciones, pues cuando otros modelos han logrado superar este techo, hace que se logre una mayor aceptación del modelo por otras comunidades científicas. Esto permite establecer un conjunto de criterios que no solo son responsabilidad del modelo sino de la comunidad que establece unas preferencias epistémicas donde se maximiza las expectativas de reconocimiento.

### ***3.3.1.4 Factibilidad***

Otra virtud importante en un modelo es su factibilidad, es la integración de sistemas ampliamente probados y la reutilización de información de distintos tipos. Entre los sistemas integrados se pueden encontrar la recuperación de información, el modelado de los agentes y la representación explícita del conocimiento. La combinación de estas tareas permite facilitar tanto el acceso a la información como su comprensión por diversos tipos de usuarios, además considerar de manera explícita los objetivos para los que los agentes utilizan los modelos y las acciones que constituyen este uso.

Con respecto a la consideración de cada uno de estos criterios, lo que sigue para dar cuenta de ellos y la mejor combinación de las virtudes que los modelos deben tener, estos forman parte de cada científico o de la comunidad científica pues son ellos los que tienen sus propias preferencias a partir de esta epistemología social, según lo expresa Zamora (2003:84):

[...] este es el resultado más interesante, sobre todo desde el punto de vista de la –relación ente la ciencia y la sociedad-imaginemos que un agente externo a la comunidad científica (por ejemplo, un gestor de la

ciencia en representación de los intereses de la sociedad en su conjunto) está también preocupado por la regla de inferencia óptima, en la medida en que, sabiendo como sabe que ninguna teoría puede ser demostrada concluyentemente, quiere al menos que las teorías aceptadas posean un valor epistémico suficientemente alto.

Además, según lo expresan Donato y Zamora (2009), los modelos son tipos de artefactos o “prótesis inferenciales”. De tal manera, que el sistema de conocimiento construido es mediado a través de una red de inferencias y no hay manera de distinguir entre el conocimiento inferencial obtenido "con la ayuda de prótesis" y el que se obtiene sin ellos. Sin embargo, la comprensión de los mecanismos de decisión particulares que los agentes hacen frente hacer buenas inferencias dadas las particulares estructuras del entorno, empleando o no la ayuda de prótesis, debe tener en cuenta los estados epistémicos y pragmáticos colectivos.

Por ejemplo, Bustos (2004) plantea que un estado pragmático colectivo podría tener como referentes criterios paretianos. Si se considera que una comunidad epistémica construye conocimiento, sería útil evaluar el estado pragmático colectivo a lo largo del tiempo. Esto, traducido a consideraciones prácticas, significa que una práctica normativa tiene beneficios o perjuicios pragmáticos si los estados pragmáticos que induce en  $t_j$  es, desde el principio de Pareto, superior o inferior a  $t_i$  —siendo  $t_i < t_j$ —.

En el intento de contribuir al debate de la concepción de modelos desde una perspectiva pragmática, se hace el análisis de una serie de virtudes que viabilizan una evolución en el conocimiento, pues posibilitan una cadena de acciones que establecen una dinámica entre inferencias y normas, y permiten situar las primeras coordinadas en el uso de los modelos a partir de los procesos inferenciales y normativos, y la dependencia de estos de las personas referidos en cuanto a agentes.

Esta posición no conduce a defender un punto de vista relativista como se podría tomar en primera instancia, puesto que plantear que los criterios para juzgar las virtudes de los modelos son "subjetivos" es muy diferente a afirmar que los criterios no son objetivos para determinar en qué grado un modelo es adecuado o no. Así, con referencia al uso de un modelo, este depende de lo que un agente quiere y estará en directa relación con el cumplimiento de objetivos propuestos. Además, los modelos pueden contribuir a descubrir nuevos aspectos de la realidad, ya que puede ser útiles para probar las

consideraciones de las hipótesis, así en la construcción del conocimiento científico la introducción de hipótesis exitosas se pueden emplear para dar "realidad" a nuevos modelos.

### **3.4 Construcción de modelos**

Hablar de la construcción de modelos no significa centrarse en la formalización de un procedimiento sino enfocarse principalmente en lo que los agentes hacen para comprender los propósitos y significados y cómo influyen estos en la producción de otros. Según, Morgan y Morrison (1999), los modelos científicos son concebidos como autónomos e independientes de la teoría. Esto significa que no existen reglas para la construcción adecuada de modelos únicamente a partir de principios teóricos. Algunas veces son inspirados o guiados por principios, y otras veces son postulados a partir de datos empíricos y fuentes experimentales, pero el proceso de construcción de un modelo usualmente trae consigo elementos de fuentes diferentes que incluyen técnicas de cálculo, conocimiento de antecedentes, analogías e intuiciones, de esta manera, pueden asumidos como autónomos e independientes. Boumans (1999), considera que

Existe una clara distinción entre las teorías, modelos y datos, y la evaluación empírica se lleva a cabo después de que se construya el modelo. Lo que se demuestra en la práctica es que los modelos tienen que cumplir los criterios implícitos de la adecuación, tales como satisfacer los requisitos teóricos, matemáticos y estadísticos, y ser útil para la política. Con el fin de ser adecuados, los modelos han de integrar elementos suficientes para satisfacer esos criterios. Además de nociones teóricas se incluyen las opiniones políticas, las matematizaciones, las metáforas y también datos empíricos y hechos.

Debido a las estrechas relaciones que se dan entre los elementos y dada su complejidad y alcance, parece plausible recordar que un modelo se identifica con una particular serie de compromisos que justifican plantear el papel de las idealizaciones y concretizaciones desde una perspectiva inferencial, como la principal herramienta en el proceso de construcción de modelos.

Las idealizaciones permiten hacer inferencias e intervenciones acerca de determinados aspectos relevantes del mundo y pueden ser entendidas como una condición de la inferencia contrafáctica<sup>39</sup>, lo que implica una mayor manipulación de las medidas y los

---

<sup>39</sup> Estas aclaraciones se deben al profesor Donato (2010), "counterfactual" se traduce al español como "contrafáctico". Es un adjetivo que en el contexto, está calificando un sustantivo —que se sobrentiende—. El sustantivo es "condicional". Por tanto, hablamos de "condicionales contrafácticos". Como se puede deducir de esto, se trata de un cierto tipo de enunciados condicionales, es decir, enunciados — o proposiciones, si se prefiere— con la estructura "si..., entonces..." —o una equivalente—, donde a la parte "si..." se la llama "antecedente" y a la parte "entonces...", consecuente.

Los enunciados condicionales pueden adoptar esencialmente dos formas. Aquella en la que hablamos en modo indicativo: "si es de día, hay luz", "si hoy es martes, entonces Juan viene a comer", "si te vas, yo también", etc. Este es el condicional de toda la vida, lo que en lógica se conoce como "condicional material" — que es falso solo cuando el antecedente es verdadero y el consecuente es falso—, y que hay que distinguir de la implicación lógica —donde el "si... entonces" tiene el sentido de que lo segundo se deduce lógicamente de lo primero—. La confusión entre ambos dio lugar a las famosas paradojas de la implicación material, que tanto preocuparon a los estoicos —remitirse al libro *La lógica de los estoicos* de Benson Mates, Tecnos, Madrid, 1985, pp. 78 y ss.—. Un resumen en español sobre los enunciados condicionales y la noción de implicación material se pueden encontrar en el libro de Irving Copi, *Introducción a la lógica*, Eudeba, Buenos Aires, 1987, pp. 292 y ss. Las dificultades que surgen con este tipo de condicionales se pueden solventar si pensamos que el condicional material de la lógica proposicional no se corresponde exactamente —ni tampoco se pretende tal cosa— con el uso del condicional en el lenguaje natural.

Otro tipo de condicionales son los subjuntivos. Aquellos en los que empleamos el modo subjuntivo para expresar condiciones hipotéticas —o bien que no se han dado todavía o bien que se han dado ya, pero que suponemos que se han dado de forma diferente a como de hecho ocurrieron—. Un ejemplo de condicional subjuntivo es: "si introdujera este terrón de azúcar en el café, el terrón se disolvería". Esto es verdadero aunque de hecho nunca metamos el terrón en el azúcar. De entre estos condicionales subjuntivos hay un tipo muy importante que son los llamados "condicionales contrafácticos", que son aquellos con los que se pretende expresar qué hubiera sucedido si hubiera pasado tal cosa que de hecho no sucedió. Por ejemplo, "si Hitler hubiera ganado la guerra, entonces hoy en Europa se hablaría alemán", "si Chávez no hubiera ganado las elecciones, la situación en Venezuela sería muy distinta" o "si este trozo de mantequilla se hubiese calentado a 150°C, se habría derretido", etc. Este tipo de condicionales es muy importante en el discurso científico, pues las teorías permiten hacer este tipo de predicciones. Es usual decir que las leyes de la naturaleza "sustentan contrafácticos". Para ilustrarlo con un ejemplo, esto quiere decir que una ley como la de la expansión de los metales sustenta el contrafáctico siguiente: "si sometes esta barra de metal a una temperatura lo suficientemente elevada, la barra acabará dilatándose" —y otros enunciados semejantes sobre otras barras de metal posibles—. Este tipo de condicionales definitivamente no pueden ser analizados como los condicionales materiales — que solo son falsos cuando el antecedente es verdadero y el consecuente es falso—, porque, claramente, en este tipo de condicionales el antecedente es siempre falso: ni Hitler ganó la 2ª Guerra Mundial, ni Chávez perdió las elecciones, ni acaso el trozo de mantequilla ni la barra de metal se sometieron nunca a altas temperaturas. Si los analizáramos como condicionales materiales, está claro que todos estos enunciados serían verdaderos. Pero no queremos eso. Es por esto que surgió el problema de dar una semántica adecuada para los contrafácticos. Los autores que más han trabajado eso han sido David Lewis, Robert Stalnaker y Frank Jackson.

Una exposición clara del problema de los contrafácticos —sobre todo en relación con las leyes naturales— es el artículo clásico de Nelson Goodman, "El problema de los condicionales contrafácticos" (1946), recogido en su libro *Fact, Fiction, and Forecast*, traducido al español como *Hecho, ficción y pronóstico*, Editorial Síntesis, Madrid, 2004.

Además de los trabajos clásicos sobre contrafácticos, el más importante e influyente es el de David Lewis. Esencialmente su análisis consiste en decir que un contrafáctico es verdadero si y solo si en todos los mundos posibles lo suficientemente similares al actual en los que el antecedente es verdadero, el consecuente es verdadero también.

cálculos, así como el planteamiento de hipótesis casuales relacionadas con el aislamiento de los sistemas.

Las idealizaciones juegan un papel crucial en el proceso de construcción de modelos, ya que la aplicación de los modelos a la realidad implica tomar en cuenta muchas simplificaciones, así como la abstracción y selección de parámetros relevantes. La abstracción es comúnmente aceptada como la omisión deliberada de ciertos parámetros, mientras que la idealización suele ser vista como la distorsión concienzuda de ciertos factores.

La abstracción hace referencia a la selección de parámetros y el aislamiento de sistemas. En cierto sentido, es una clase de idealización, pues se sabe que no existe un sistema real que esté aislado del resto del mundo. El número de las variables y su medida que ejercen cierta influencia en un fenómeno en particular son muy amplias para tomarlas en cuenta a todas y por lo tanto no ofrecen soluciones analíticas a las situaciones problemáticas. Por eso, uno de los principales propósitos de la idealización es simplificar el modelo para hacerlo computable, de ahí que en algunos casos, cuando los datos son muy escasos, los métodos de simulación adquieren importancia.

Son múltiples las facetas de la praxis científica que implican idealizaciones, así no solo los modelos, las leyes y las teorías, sino las técnicas de cálculo, los métodos de medición, gráficas, explicaciones y prácticamente cada aspecto del método científico. Lo que justifica el uso de la aproximación y la optimización es el supuesto contrafáctico que entre más una función se aproxime al dato, es más probable que las inferencias hechas a partir de esa función sean correctas. Un ejemplo importante es el constituido por los supuestos e ideales contrafácticos implicados en las explicaciones reducidas y las aproximaciones entre diferentes teorías y leyes. Donato (2010) expresa que

Los condicionales contrafácticos tienen un papel esencial a la hora de explicar la forma y la "lógica" de las idealizaciones científicas. Dichos condicionales se han de leer de acuerdo con una semántica modal —no necesariamente la de Lewis—, es decir, que los antecedentes de esos condicionales no se dan en el mundo real —o actual— —al menos que nosotros sepamos—. Imaginamos situaciones que son posibles —

verdaderas quizá en otros mundos posibles, pero no en el nuestro, aunque muy bien pudieran haberlo sido —, con el fin de ver qué tipo de situaciones se darían en tales casos. En otros casos imaginamos situaciones pocas o nada verosímiles — o lisa y llanamente imposibles— porque suponemos que tales cosas son útiles a nuestros propósitos científicos. Esta es la idea básica que hay detrás de los condicionales contrafácticos.

De acuerdo con lo anterior, se puede expresar que existen diferentes niveles para las idealizaciones:

- La abstracción y selección de un pequeño número de parámetros del modelo (reducción de los grados de libertad).
- Introducción de distorsiones en los parámetros considerados en el modelo.
- Idealizaciones realizadas durante los procesos de cálculo y medida de los parámetros y la construcción de modelos de datos.
- Idealizaciones implicadas en formas simples en los principios y leyes.
- Idealizaciones necesarias en las relaciones entre las teorías y las leyes.
- Idealizaciones que son tomadas en cuenta en la elaboración de la simulación del modelo computarizado.

Esta lista se constituye en un referente, dado que en la ciencia estos niveles de idealización pueden surgir simultáneamente y con frecuencia se dan en diversas formas y combinaciones. Como cada una de ellos tiene sus propios mecanismos de aplicación, una inquietud válida es si estos tienen una estructura común, ya sea un procedimiento de deformación contrafáctica que puede formalizarse en términos de un modelo lógico o por medio del uso de cualquier otra herramienta formal. Esto conlleva necesariamente a hacer una diferencia entre los diversos conceptos implicados en la clasificación: abstracción, idealización y aproximación.

Las idealizaciones, con la optimización y la aproximación, juegan un papel importante en la construcción de los modelos de datos, tanto de los empíricos como de los teóricos

que pretenden explicar o predecir ciertos aspectos del mundo ya sea real o idealizado en forma de modelos de datos. Una importante función de las idealizaciones es permitir la construcción de otros modelos ideales a partir de los concretos o viceversa: en otras palabras, la relación idealización/concretización se refiere a las relaciones entre los modelos teórico, como en el caso de la termodinámica y la mecánica estática.

Para algunos propósitos y en ciertos contextos determinados por la comunidad científica, es conveniente tratar un sistema ideal como si fuera real o tratar a un sistema no aislado como si en realidad estuviera aislado. Con esta misma pretensión, se puede trabajar con modelos idealizados en vez de los concretos, los cuales en algunas ocasiones pueden no ser útiles para ciertos propósitos o no ser fáciles de trabajar. En algunos casos, los modelos de datos pueden ser idealizados o concretizados por conveniencia.

Los datos siempre son contruidos, no solo por la distinción conocida entre los datos en bruto y el fenómeno, sino también por la selección de los tipos de datos o parámetros relevantes obtenidos como consecuencia de una idealización. El cambio de los parámetros relevantes depende del nivel de idealización que se quiera o en el que se está. Lo que se tiene es más una jerarquía del fenómeno intercalado por el proceso de idealización-concretización inducido por los significados teóricos. Como Suppe (1989) lo expresa: “no es el interés principal de las teorías aplicar leyes al fenómeno, pero si usar leyes para predecir y explicar el comportamiento de los sistemas físicos abstraídos del fenómeno”.

Suppe (1989) considera las descripciones idealizadas de los datos duros del fenómeno, que son más o menos acertadas dependiendo de su nivel de idealización. Lo que se hace es precisar las descripciones de los hechos e incrementar la predicción y el poder de explicación de los modelos de datos. Se seleccionan ciertos parámetros relevantes — abstraídos del resto— y se idealizan. La determinación de los datos consecuentemente se convierte en un proceso complejo de elaboración desde el fenómeno, involucrando un gran número de principios teóricos y supuestos relatados de la selección de parámetros, sus medidas, y la escogencia de condiciones limitantes. Al mismo tiempo, también se puede redescibir los datos para propósitos teóricos y revisarlos por si acaso algo resulta mal durante el proceso.

Todos estos procedimientos de deformación tienen en común la consideración de que es posible alejarse del fenómeno a partir de condiciones contrafácticas<sup>40</sup>. Tal como está expresada esta idea se parece a la noción de Lewis (1973) sobre la distancia entre dos mundos posibles, en donde el mundo actual es el mundo fijado por el contexto — y puede ser de hecho, otro modelo idealizado) — a partir de esta relación de similitud comparada se dice que un mundo está más cerca de la realidad que otro si el primero se parece al mundo real más que el segundo. Lo que hace la diferencia entre estos dos mundos posibles puede ser una causa que marca un contraste entre lo que hubiera ocurrido sin ella y con ella. Sin embargo estas discrepancias no son taxativas, sino que se pueden considerar a partir de la idea de Nozick (2001), quien resalta la importancia de distinguir entre diferentes “grados de contingencia”, lo que significa que las afirmaciones que son contingentemente falsas pueden ser verdaderas en mundos posibles que difieren de nuestro mundo actual por diferentes razones:

Los filósofos de la modalidad pueden contar con tres números: 0,1, todos. Esto es imposible, pero no en los mundos posibles, y una verdad necesaria es verdadera en todos los mundos posibles. Una declaración contingente es una verdad contingente cuando es cierta en el mundo real. Las verdades necesarias son invariantes en todos los mundos posibles, las verdades contingentes solo en algunos. Cuando una verdad contingente varía en los diferentes mundos posibles, que tan contingente es? Es instructivo formular una medida del grado de contingencia. Solo si una declaración es una conjunción que describe completamente un mundo (el mundo real o algún otro) tiene la posibilidad de mantenerse en ese mundo. De lo contrario, se cumplirá de más de un mundo posible.

En esta tesis retoma el concepto de “grado de contingencia” para dar cuenta que las idealizaciones pueden diferir en muchos aspectos del mundo actual.

---

<sup>40</sup> Un condicional contrafáctico es un enunciado condicional en el cual interviene la noción de posibilidad, expresada gramaticalmente por la introducción del subjuntivo. Ejemplo: si mi padre no hubiera muerto no me sentiría así de responsable de mis hermanos. Otro ejemplo: si no hubiera abortado, hoy me sentiría más feliz. Se establecen algunas inferencias en función del modo en que el modelo se apoya en los condicionales contrafácticos que enuncia.

Donato y Zamora (2009) elaboran un resumen de esta aproximación considerando que las idealizaciones pueden ser analizadas como afirmaciones ( $S_i$ ) que son consecuencia de ciertas condiciones contrafácticas —o subjuntivas—, en la que el antecedente expresa las condiciones ideales — o virtuales,  $C_i$ — bajo las cuales se sostiene la idealización. Se puede usar el término de “ley idealizada” para todo el condicional y para el antecedente se puede emplear el término “condiciones ideales”. La estructura será de la siguiente forma:  $C_1, \dots, C_n \rightarrow S_1, \dots, S_k$ , en donde  $C_1, \dots, C_n$  son las condiciones ideales y  $S_1, \dots, S_k$  son las idealizaciones, y la conexión “ $\rightarrow$ ” puede ser entendida en términos de la semántica de Lewis como las condiciones contrafácticas.

Dado que las condiciones ideales pueden tener varios grados de contingencia o pueden estar sujetos en su relación a diferentes aspectos, es posible definirlos a partir de las siguientes consideraciones:

- (i) En el más alto grado de contingencia,  $C_1, \dots, C_n$  están completamente idealizados en el sentido que estos contradicen ciertos principios teóricos aceptados.
- (ii)  $C_1, \dots, C_n$  son contingentemente falsas cuando el conflicto establece muy bien las regulaciones empíricas.
- (iii)  $C_1, \dots, C_n$  también son contingentemente falsos pero no tiene conflicto explícito con la regulación establecida. En cualquier caso, tenemos razones fuertes para creer estos son falsos en el mundo actual y solo se pueden encontrar bajo el control experimental.
- (iv)  $C_1, \dots, C_n$  son supuestos contingentes prácticos que, a pesar de verse plausibles, todavía no sabemos si estos son reales o falsos en el mundo actual.

La estrategia presentada por Donato y Zamora (2009) es un paso importante, ya que describe grados de contingencia para la idealización de los modelos en los que cada uno refleja un ideal de representación diferente. Es importante resaltar que estos tipos de idealización ocurren de manera frecuente en diferentes combinaciones, por lo tanto, la estructura de los modelos pueden exhibir una compleja red de idealizaciones a multinivel. La idea central es que los modelos están formados por las idealizaciones que se manifiestan bajo las condiciones jerarquizadas de (i) a (iv). Esto es necesario si se

quiere un modelo con virtudes heurísticas, epistémicas y cognitivas. Desde este punto de vista, un modelo es idealizado si solo contiene condiciones ideales de tipo (i), y sería prácticamente imposible tener concretizaciones porque no tendría una conexión real con el mundo actual. Sin embargo, los modelos tienen un gran poder explicativo —y otras virtudes epistémicas— precisamente por esas altas condiciones ideales, por esas suposiciones que hacen posible el trabajo de la maquinaria inferencial. Por otro lado, si las condiciones ideales implicadas fueran muy probables de ocurrir en el mundo actual, que solo se darían casos ideales de tipo (iv), entonces los modelos no serían suficientemente aprovechados ya que una vez haya sido concretizados no tendrían nada más que aportar. Desde un punto de vista inferencial, no sería tan provechoso como una herramienta inferencial.

Según Weisberg (2007), existen diferentes metas representacionales involucradas en la idealización y estas a su vez se basan en diversos ideales representacionales. Así, la idealización Galileana es usada para obtener simplicidad y manipulación en el proceso de los cálculos y medidas, y se emplea en los experimentos pensados, mientras que la idealización como método de búsqueda de los principales factores casuales que tienen influencia en un determinado fenómeno se enfoca más en el descubrimiento de la estructura casual real que está detrás de una clase de fenómeno. En este caso, las idealizaciones nos permiten inferir hipótesis casuales generales, que de paso permiten inferir explicaciones casuales de fenómenos concretos. Las concretizaciones son pensadas para obtener una mayor cobertura —amplitud— y exactitud en la descripción de los sistemas reales. Estas permiten hacer inferencias más exactas y precisas, que si llegan a ser exitosas le darán al modelo un grado particular de información.

### **3.5 Función de los modelos idealizados**

Cuando se analizan las tareas que deben realizar los modelos idealizados, se encuentran propuestas como la “inductivista” y la de “aislamiento” que, desde el punto de vista planteado en este trabajo, no son diferentes. La razón que permite afirmar esto es que la realización de una inferencia inductiva a partir del modelo al sistema real es solo la creencia de que el modelo incluye correctamente aspectos que en el mundo real producen las inferencias del agente sobre el fenómeno. Sudgen (2002) considera que la principal función de los modelos idealizados es permitir un tipo particular de “inferencia

inductiva” acerca de los sistemas reales o al menos algunas conclusiones de esas inferencias sobre el mundo real. Esto posibilita que se puedan hacer inferencias a partir de algunos casos reales observados en otros casos reales no observados, o desde algunos individuos a otros. Como un ejemplo ilustrativo, se plantea que a partir del estudio de algunas especies es posible a través de inferencias concluir acerca de los mecanismos moleculares genéticos en todos los animales.

También es posible inferir algo acerca de un sistema verdadero a partir de lo que se aprende de un sistema imaginario, esto es análogo o similar de una manera relevante con el caso real. Esta similitud, sin duda, no solo tiene que ver con la relación entre las estructuras formales de lo real y los sistemas imaginarios, sino que se deriva principalmente de factores causales presentes en ambos casos, pues finalmente lo que se compara es la estructura matemática o lógica de los factores causales. Esto permite por otro lado, hacer una conexión con otros enfoques sobre la explicación y la idealización, como los propuestos por Mäki, Strevens y Hindriks, quienes plantean que los modelos idealizados son explicativos porque hacen declaraciones sobre factores causales aislados. Un modelo idealizado y en este sentido "no realista" puede explicar algunos fenómenos reales solo si describe la forma en que las causas de los factores reales operan. Entonces, de acuerdo con estos autores, se puede plantear que un modelo idealizado sería un sistema en el que “observa” el funcionamiento de algunos mecanismos causales, y se pueden extraer empíricamente conclusiones válidas desde esta “observación”. Como en el caso de un experimento controlado, donde en el modelo idealizado se "observa" — por lo general, más claramente que en el del mundo real— el funcionamiento de los mecanismos que se desean estudiar.

La “credibilidad” se ha constituido en la filosofía de la ciencia, como una medida de la aceptación de un modelo, tomando como punto de partida las creencias acerca de lo que es posible o necesario en el mundo real. Sin embargo, en los argumentos desarrollados se sabe con certeza que éste no es real y que además existen diferentes condiciones bajo las cuales se considera creíble, ya que en algunos casos se mezclan dos elementos diferentes del valor de una hipótesis que se han considerado que no lo son, puesto que los modelos idealizados no son simplemente aislados sino que a menudo describen situaciones que no existen. Los modelos también pueden describir situaciones imposibles, ya que se pueden describir por teorías que son contradictorias entre sí, como en algunos casos de las teorías físicas.

Esto permite plantear una nueva categoría, la “iluminación”, que tiene la capacidad de dar una comprensión de la habilidad inferencial cuando se añade un nuevo reclamo a un conjunto de compromisos por parte de los agentes. Una nueva reclamación es más o menos valiosa en la medida que posibilita una facilidad o fluidez para navegar por la red de vínculos inferenciales según el cual esté estructurado el conjunto de compromisos. Básicamente, el valor de un modelo pueden derivarse de las nuevas estrategias de razonamiento que permite poner en práctica la combinación de las antiguas normas inferenciales con el fin de crear unas nuevas. Esto podría hacerse por diferentes medios, por ejemplo, se podría llegar al descubrimiento de un nuevo algoritmo, se podrá establecer una nueva heurística que sugeriría cómo conectar varias colecciones de datos independientes, o simplemente podría permitir la derivación de un hecho conocido a partir de las reclamaciones previamente aceptadas.

Esta nueva mirada contrasta con la función principal que se la ha otorgado a los modelos idealizados, ya que para algunos autores el hecho de introducir idealizaciones en las ecuaciones con el fin de simplificar el sistema para hacerlos manejables o solucionables les permite servir como referente de representación. Este enfoque matemático busca encontrar de una manera más precisa y detallada la representación del problema. Si el modelo no capta adecuadamente las características del fenómeno, entonces se considera que no tiene un grado alto de credibilidad, pero aún es posible realizar un par de acciones. Por ejemplo, se puede añadir más detalles a la representación matemática, o se puede tratar de ajustar los parámetros que ya subyacen al modelo fin de reflejar mejor lo que está pasando. Desde esta perspectiva, el objetivo es tratar de llevar a cabo una especie de convergencia entre el modelo y la realidad. En última instancia, la meta es llegar a una completa y verdadera descripción del fenómeno de interés. Así, en este punto de vista, un modelo es más creíble cuanto más detalles del fenómeno real es capaz de representar matemáticamente.

Según Sugden (2002), los sistemas idealizados son los que podrían ser reales, es decir, son una especie de experimentos mentales —de bajo factor condicional—<sup>41</sup>, que en principio podrían llevarse a cabo, pero que en la experiencia no es posible por razones prácticas o fundamentales. Él emplea dos famosos modelos, el de Akerlof's (1970),

---

<sup>41</sup> Sin duda, parece una consecuencia natural de una posición tal que, además de cualquier hecho que hay sobre lo que realmente existe o se producen, también son hechos acerca de lo que existe o se producen bajo diversas condiciones no realizadas.

modelo del mercado de automóviles usados, y el de Schelling (1978), modelo de segregación racial que contienen referencias a los fenómenos del mundo real; estos tienen sentido solo en el supuesto de que los modelos tienen por objeto explicar los fenómenos. De esta manera, Sugden parece seguir el enfoque de Atkinson (2003) para los experimentos mentales ya que "los experimentos mentales [...] solo tienen valor cuando que están relacionados o inspiran a experimentos científicos reales". Atkinson argumenta que esto es por lo menos en el caso de la Física. Incluso esto es muy discutible, sin embargo, pues a menudo las idealizaciones —modelos idealizados— en la Física se definen por las condiciones ideales y son imposibles de realizar, de esta manera los experimentos mentales son criticados como forma de razonamiento eficaz<sup>42</sup>.

Por lo general, los modelos idealizados no tienen una aplicación directa, sino que su relación con la palabra real está mediada y son indirectos, es decir, no pueden interpretarse como entidades universales que tienen una implicación material sino que tienen que ser concebidos como deformaciones contrafácticas que se aplican a determinadas situaciones no realizadas o incluso irrealizables. Estas no son arbitrarias, por cuanto algunas logran sentido pero una inmensa mayoría no. La tarea principal de una deformación contrafáctica es distinguir entre "buenos" y "malos" modelos, para este propósito se debe tener en cuenta la estructura del universo de propiedades que están involucradas.

---

<sup>42</sup> Los argumentos dados por Atkinson (2003) contribuyen a dilucidar el tema acerca del papel de los experimentos mentales en física. De acuerdo con Brown (2010), el experimento mental de Galileo es un clásico en el campo, ya que, por lo que se dice, una creencia antigua ha sido destruida por el pensamiento puro y sustituido por los nuevos conocimientos sobre el mundo, sin la necesidad de un experimento real, es decir, sin la aportación empírica adicional.

Para Brown (2010), el panorama de las verdades teóricas empíricas —verdades matemáticas— es algo que está ahí para ser observado por una mente lo suficientemente cultivada. Esta perspectiva de Brown es negada por Norton (1996), para quien los experimentos mentales disfrazan argumentos. Sobre la base de un cuidadoso estudio de la epistemología de los experimentos mentales — en contraste con, por ejemplo, su impacto en la comunidad científica—, Norton concluye que los experimentos mentales no pueden hacer más de lo que se obtiene con las herramientas de argumentación. Gendler (1998), por el contrario, se opone tanto a Brown y Norton, y sostiene que los experimentos mentales son "contemplaciones guiadas", es decir, con argumentos es posible alcanzar un poder de persuasión particularmente fuerte, es decir la "fuerza de justificación". Al parecer, tomando su inspiración de Mach, Gendler atribuye esta fuerza de justificación al hecho de que, en un experimento mental, el conocimiento empírico desarticulado de repente se organiza y manifiesta. Atkinson no está de acuerdo con Gendler, pues sugiere que Galileo no solo tenía necesidad de hacer experimentos reales sino que se anticipa a ir más allá de lo que en su tiempo se podía hacer, esto lo demuestra en el análisis técnico de la mecánica de la caída de los cuerpos

Como lo expresa Sorensen (1992, la deformación contrafáctica de situaciones reales parece ser esencial para la estructura de los experimentos mentales,) pues permite excluir las posibilidades de espurios y mostrar cuáles son genuinos. Este es el caso habitual de la Física donde por ejemplo, en el caso del péndulo simple, se puede tratar con realismo la lenteja como un cuerpo físicamente extendido, o se puede realizar una deformación contrafactual tratándola como una masa puntual. Se puede tratar el seno del ángulo de desplazamiento  $w$  exactamente como  $\sin(w)$ , o se puede hacer una deformación contrafactual suave tratándolo como  $w$ . Por otra parte, se puede tratar con realismo el medio en el cual se mueve el péndulo, o se puede llevar a cabo la deformación contrafactual como si se tratara de un movimiento en el vacío. De esta manera, se puede concebir estas deformaciones contrafácticas del sistema físico "péndulo simple"  $P$  como provocada por los operadores de deformaciones contrafácticas  $b$ ,  $w$ , y  $m$ . Con estos argumentos, la "credibilidad", en el sentido de Sugden, no puede ser la medida de aceptación de los modelos como "buenos" modelos. Los modelos irreales son valiosos, por cuanto nos muestran cómo se pueden aplicar con éxito a nuevos casos los principios teóricos y normas inferenciales que se conocían con anterioridad. Así, se puede decir que los buenos modelos son poco realistas, pero son esclarecedores, por cuanto permiten indicar cómo se comportarían los sistemas físicos o económicos bajo ciertas condiciones contrafactuales. El propósito de la deformación contrafactual es transformar un potencial "buen" modelo en uno que realmente lo sea justificándola con la eliminación de ciertos aspectos que dificultan que un potencial modelo pase a ser un modelo real.

### **3. 6 Recapitulación**

Asumir una perspectiva pragmática que tenga como punto de partida el carácter de los modelos científicos debe estar inspirado necesariamente en la filosofía del lenguaje de Brandom (2000). De esta manera, se asumen los modelos científicos como herramientas que ayudan a extraer inferencias acerca de la meta en relación con los objetivos específicos. Desde esta perspectiva, los modelos se asumen como un conjunto de compromisos entre sí y sus normas de inferencia que permiten explicar y predecir fenómenos de forma relevante. El que se reconozca el compromiso con "p" no equivale a que se reconozca el compromiso con la consecuencia "q", sino a que debería hacerlo. Y ese "debe" tal como aparece en la regla es una explicitación de la inferencia práctica.

Brandom enfoca la práctica discursiva mediante dos estrategias normativas. Una que relaciona los procesos de dar y pedir razones con los procedimientos fiables. Esta arista no es una buena vía para mostrar lo que se pretende inferir: una comunidad que está centrada solo en aspectos de justificación no es concebible si dar y pedir razones es un procedimiento validador de conocimiento es porque es un procedimiento fiable. La otra vía se asume sobre la relación entre creencias y procedimientos fiables. En esta segunda arista, se pretende trabajar con el subconjunto de procedimientos fiables que son el blanco implícito de la argumentación brandomiana —procedimientos fiables distintos del juego de dar y pedir razones—. Y en esta línea, Brandom resalta que se encuentra aquello que los restantes procedimientos fiables no pueden ofrecer: estados de creencias que, como tales, involucran conceptos que responden de forma adecuada a las prácticas efectivas de validación de conocimiento.

Asumir el discurso científico como una práctica normativa implica que el tipo de normatividad interna en el discurso científico debe tener como referente la importancia de los cambios de la situación deóntica, así como las consecuencias de dichos cambios y los estados de enlace y aptitudes de la comunidad. Brandom (1994) dice que el reconocimiento de un compromiso tiene la consecuencia social de un estado de creencias que le da derecho a los demás a atribuir ese compromiso. En el caso del discurso científico, según Zamora-Bonilla (2006), se pueden distinguir tres tipos de normas: internas, de entrada y de salida. Con referencia a las normas internas, éstas permiten la evaluación de la calidad epistémica de las afirmaciones y teorías. Las normas internas están constituidas por normas de inferencia y epistémicas. Las normas de entrada hacen referencia a las reglas sobre la autoridad y a la obtención de pruebas, es decir, cómo se llevan a cabo y se interpretan las observaciones empíricas. Las normas de salida hacen alusión a las reglas que regulan asuntos como la publicación, la validación de trabajos, los premios, la financiación del trabajo científico o el reconocimiento académico.

Con relación a las normas epistémicas, Donato y Zamora (2009) plantean una visión inferencial de modelización científica según la cual los modelos consisten en un conjunto interconectado de compromisos y normas inferenciales doxásticas. Se caracteriza un modelo —o representans— como una máquina de inferencia asociada a una interpretación intencionada y que está asociada a la representación de un sistema real —o representandum—.

Esta relación entre representans y representandum es implícitamente normativa, pues las normas surgen de los actores y no son objetos en el orden causal. Los modelos se definen por su rol inferencial, es decir, equivale a inferir las consecuencias de su construcción a partir de las circunstancias apropiadas de su aplicación. Solo cuando se explicitan los recursos tanto semánticos como pragmáticos en juego en la aplicación de un modelo, se pueden hacer afirmaciones sobre los mutuos compromisos doxásticos, prácticos e inferenciales adoptados en el transcurso de su construcción. El compromiso práctico es un compromiso de justificar la secuencia de la construcción de los modelos cuyo resultado es el compromiso práctico en cuestión. Esta opción holista es el lugar desde donde podrá hablarse de los valores asociados a los modelos. En palabras de Brandom (2006), “controlar la puntuación discursiva es lo que deben hacer los miembros de una comunidad para que cada uno de sus actos tenga la significación — para ellos— de decir algo”.

Los valores epistémicos no son los que crean el valor de los modelos sino son aquellos que ayudan a identificarlos como valiosos para el logro de los objetivos esperados, como ayudar a predicciones simples y precisas, a dar explicaciones apropiadas a fenómenos sorprendentes, a desarrollar equipos más rápidos para realizar operaciones específicas. Esto permite comprender que las normas epistémicas no son universales, como lo pretendía el discurso cartesiano, sino que depende de estándares epistémicos y objetivos específicos de una comunidad.

La normatividad epistémica tiene fundamentalmente una dimensión social y los agentes epistémicos son los grupos y las instituciones en lugar de individuos. El valor de una norma particular, en un contexto determinado cuando un grupo se enfrenta a un problema particular, debe ser un punto de discusión de los miembros de estos grupos y las instituciones, y no se puede decidir a priori a partir del análisis conceptual.

# CAPÍTULO IV

## PAPEL DE LA IDEALIZACIÓN Y CONCRETIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

### INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los científicos han empezado a estudiar cuestiones cada vez más complejas y su atención se ha centrado en las técnicas computacionales utilizadas en la ciencia, y a la pregunta por las consecuencias de la utilización de simulaciones para la comprensión de los modelos científicos. El advenimiento de técnicas computacionales introduce nuevas herramientas en la ciencia, abre nuevas posibilidades y representa de manera indiscutible un progreso científico, porque gran parte del éxito de la ciencia moderna se debe a lo que llama Hacking (2001) "cálculo" o en lenguaje contemporáneo, "construcción de modelos por medio de ordenadores".

Muchas aplicaciones de las teorías científicas implican modelos matemáticos complejos cuya traducción en ecuaciones conlleva a que no tengan una solución analítica. El estudio de estas aplicaciones, a menudo, consiste en el desarrollo de representaciones de la física subyacentes en un equipo, y la utilización de técnicas de simulación por computador para aprender sobre el comportamiento de estos sistemas. Estas simulaciones por ordenador no son técnicas simples, implican una compleja cadena de inferencias que sirven para transformar las estructuras de los conocimientos teóricos específicos de los sistemas físicos.

Construir simulaciones por ordenador de sistemas físicos permite la construcción de modelos guiados por la teoría pero no determinada por esta, según lo expresa Winsberg (2001). Al mismo tiempo, los modelos de simulación se construyen precisamente porque los datos son escasos. Estos tienen el propósito de sustituir los experimentos y observaciones como las fuentes de datos sobre el mundo, por lo que no se puede evaluar simplemente al ser comparado con el mundo. Abordar las cuestiones filosóficas alrededor de las prácticas científicas que giran en torno a las simulaciones posibilita hacer una revisión de las discusiones sobre este tema.

En la sección 4.1, “El papel de las simulaciones”, se busca, a partir de una reflexión metodológica, considerar si las simulaciones constituyen una nueva metodología o son parte de un antiguo problema. En este sentido, se pregunta por el lugar epistémico que deben ocupar las simulaciones, que da paso a la discusión sobre si las simulaciones son una forma de teorización, experimentación o un lugar intermedio.

En la sección 4.2 “Hacia una teoría pragmática de las simulaciones” se plantea la necesidad de dar a las simulaciones una serie de características distintivas establecida por las prácticas científicas y señalar sus consecuencias epistemológicas.

La sección 4.3 “Credibilidad de las simulaciones” se discute con relación a las fuentes de credibilidad que entran en juego en una simulación para que sea validada.

Las dificultades que entraña abordar estas temáticas en el marco de tesis permitirán construir sentido al tema de las representaciones y modelos científicos para lograr una interpretación en el marco de la filosofía de la ciencia en la búsqueda de un estatus epistemológico de las simulaciones.

#### **4.1 El Papel de las simulaciones**

Discutir sobre la condición que debe darse a las simulaciones por ordenador se constituye en un tema fundamental. Se encuentran tres posiciones entre los filósofos de la ciencia. La primera es que las simulaciones por ordenador son solo modelos que se ejecutan en un equipo y que por lo tanto reclaman la misma carga de la validación epistemológica. La segunda es que las simulaciones por ordenador tienen una naturaleza empírica que abarca experimentos, observaciones y experiencias, y la tercera es que ocupan un lugar independiente de las dos anteriores.

Post y Votta (2005) plantean que las simulaciones computacionales se constituyen en modelos de la realidad física y se convierten en una tercera metodología de investigación independiente de los experimentos y las teorías, puesto que, además de volverse indispensables para la investigación científica, existe un crecimiento exponencial de la potencia de los ordenadores que permiten la predicción a gran escala de fenómenos de alta complejidad, como las explosiones de supernovas y las explosiones nucleares. A pesar de sus grandes éxitos, hay tres retos que las simulaciones debe enfrentar para lograr equipararse a las dos grandes metodologías tradicionales de la

ciencia: el experimento y la teoría. El primer reto relacionado con el rendimiento exige que se dé a la par una mayor capacidad de almacenamiento de datos y una mayor velocidad de procesamiento de la información. El segundo desafío está en relación con la programación, pues la escritura de códigos es cada vez más compleja, lo que impide hacer uso eficaz de la capacidad de las computadoras. El tercer desafío, que se considera el más complejo, es poder utilizar todas estas posibilidades de cálculo para dar respuestas suficientemente fiables que sirvan de base para la toma de decisiones en los diferentes campos, sobre todo en el campo económico y político.

Estos desafíos no solo se ubican en el plano técnico ni tecnológico, sino en el campo pragmático, que ha sido la línea de discusión en esta investigación. Por eso, el desafío de la predicción se debe, en gran parte, a la complejidad de los resultados y al problema de la integración de esfuerzos de grandes equipos. Esto a menudo lleva a la consideración de que las simulaciones computacionales no son lo suficientemente confiables y creíbles para servir de base para tomar decisiones importantes que enfrenta la sociedad.

La verificación, la validación, y la gestión de la calidad se consideran aspectos esenciales para el éxito de un código a gran escala y para la elaboración de proyectos. Por verificación se refiere a que el código aborda el modelo elegido correctamente. La validación hace referencia a que el modelo capta los fenómenos físicos esenciales con fidelidad. Sin una verificación y validación adecuadas, los resultados de los cálculos no son creíbles.

Humphreys (2009) plantea cuatro reclamaciones alrededor de las simulaciones, La primera es de orden metafísico puesto que las simulaciones crean algún tipo de mundo paralelo en el que los experimentos pueden llevarse a cabo en condiciones más favorables que en el "mundo real". También considera, en segunda instancia, que las simulaciones demandan una nueva epistemología. Desde el punto de vista semántico se hace necesario un nuevo análisis de cómo los modelos/teorías se refieren a los fenómenos. Y desde un punto de vista metodológico se reclama que la simulación por ordenador proporciona cualitativamente una nueva metodología para las ciencias naturales, ocupando un algún lugar intermedio entre la ciencia y la teoría tradicional con sus métodos empíricos de experimentación y observación. En muchos casos se trata de

una nueva sintaxis que poco a poco sustituye a la antigua, puesto que se pueden abordar problemas que no pueden asumirse desde métodos analíticos.

Humphreys (2009) considera que en la actualidad, teniendo en cuenta los campos crecientes de aplicación de las ciencias, una epistemología exclusivamente antropocéntrica no es adecuada, ya que existen métodos centrados exclusivamente en el ámbito computacional que trascienden las propias capacidades humanas. De este modo, se debe abordar la ciencia computacional desde una perspectiva híbrida, pues los dispositivos de representación, que incluyen simulaciones, se construyen para equilibrar las necesidades de las herramientas computacionales y los consumidores humanos. Esta situación es diferente a la propuesta filosófica de entender el mundo desde una perspectiva humana, porque el mayor problema consiste en la representación de intermediarios que se adapten a las capacidades cognitivas humanas.

Para un creciente número de campos de la ciencia, una epistemología exclusivamente antropocéntrica no es adecuada porque no existen en la actualidad autoridades epistémicas superiores. Así que ahora nos enfrentamos con un problema, que podemos llamar la situación antropocéntrica, de cómo nosotros, como seres humanos, podemos comprender y evaluar computacional basados en métodos científicos que trascienden nuestras propias capacidades. Esta situación es diferente desde el antiguo problema filosófico de entender el mundo desde una perspectiva humana, porque la mayoría de problemas requieren intermediarios de representación que se ajustan a las capacidades cognitivas humanas, como lo expresa Humphreys (2009).

Friggs y Reiss (2009) centran la atención en la continuidad de los debates actuales, así, las simulaciones deben verse como una contribución a las discusiones acerca de los modelos científicos, la idealización o la validez externa en lugar de explorar territorios nuevos y desconocidos. Un análisis de las simulaciones se inscribe necesariamente en el panorama de los problemas que se conocen y debe contribuir al avance de estos debates.

En el artículo “Una mirada crítica a la filosofía de la simulación”, se considera que los métodos de simulación por ordenador no plantean nuevas cuestiones filosóficas y, además, que el progreso en la comprensión de las simulaciones estará beneficiado a través de las discusiones que sobre el uso de los modelos se da actualmente en Filosofía de la Ciencia.

Harmann (1996) considera que las simulaciones son procesos que imitan otros procesos, referido únicamente a una secuencia temporal de estados de un sistema. Las simulaciones teóricas están estrechamente relacionadas con los modelos teóricos. Estas simulaciones se realizan normalmente en un equipo, a diferencia de las experimentales, donde un proceso físico real o biológico es imitado por otro proceso físico real ó biológico.

La característica más significativa de las simulaciones es que permite a los científicos imitar a un proceso por otro. El término "proceso" hace referencia a una secuencia temporal de los estados de un sistema. Debido a que los procesos son abordados por científicos de formación disciplinar diferente, las simulaciones se convierten en una poderosa herramienta interdisciplinaria para abordar las estrategias variadas de investigación en diferentes ciencias. Las simulaciones por ordenador pueden aportar desde perspectivas diferentes. En primer lugar, podrían proporcionar una metodología cualitativamente nueva y distinta que podría asumirse en algún lugar intermedio entre la ciencia tradicional, como por ejemplo, la física teórica y sus métodos empíricos de experimentación, observación y experimentación numérica. En segunda instancia, dado que las simulaciones son utilizadas por los científicos que estudian las ciencias naturales y las ciencias sociales, esto permite comparar críticamente las respectivas estrategias metodológicas.

Simpson (2006) plantea que relación entre las simulaciones y modelos no es simétrica. Las simulaciones son diferentes a los modelos que las hacen posibles por las siguientes razones: detener una simulación no es lo mismo que detener un proceso, aunque en determinadas condiciones es posible detener un modelo subyacente. Además, la lógica del proceso determina los estados subsiguientes de una simulación que podría estar guiado por un modelo subyacente. La manera como el modelo guía el proceso posibilita la simulación, aunque no exista una identidad entre la simulación y el modelo subyacente. Mantiene distancia con la formulación de Winsberg (2006), al considerar las simulaciones como un proceso inferencial no simplemente como una " técnica de cálculo numérico".

Lo que caracteriza una simulación para Winsberg (2003) está en el proceso de construcción de modelos, a partir de la relación entre simulación y experimentación. Su interés consiste en discutir las "identificaciones" de tipo epistémico que tiene las

simulaciones en el ambiente de las prácticas científicas. Éstas no se derivan directamente de las teorías sino que involucran un conjunto de estrategias para la construcción de diferentes modelos, lo que lleva a considerar que las razones para sustentar una teoría sean diferentes a las de las simulaciones.

Dentro de este panorama de discusión acerca de la naturaleza de las simulaciones es importante considerar que se asume que una simulación es una prótesis inferencial que permite inferir estados futuros, acorde a los planteamientos de Donato y Zamora (2009) y Simpson (2006). De este modo, las simulaciones como los modelos son mediadores y las inferencias son realizadas por muchos individuos: los agentes. Desde un punto de vista pragmático, ambos se ubican en el mismo plano filosófico buscando comprender la legitimidad dentro de la práctica científica, y no revelar la naturaleza de la relación entre los mismos. De esta manera, como lo han señalado Morgan y Morrison (1999), los modelos científicos y, como se plantea en esta investigación, las simulaciones se conciben como autónomas e independientes de la teoría. Esto significa que no existe ningún algoritmo para su construcción adecuadas a principios teóricos, empíricos o a modelos. En algunas oportunidades estas mediaciones están guiadas por principios y, a veces, son formulados a partir de datos empíricos y de fuentes de experimentación, pero su proceso de construcción reúne elementos de diferentes fuentes, incluidas las técnicas de cálculo, el conocimiento de fondo, la analogía y la intuición, de modo que puedan considerarse como algo autónomo e independiente. Incluso para la realización de simulaciones en los diferentes campos, se requiere el desarrollo de hardware y software para ordenadores así como la creación de códigos de aplicación versátiles.

## **4.2 Hacia una teoría pragmática de las simulaciones**

Las simulaciones se utilizan en la práctica científica de muchas maneras. Por ejemplo, en mecánica de los fluidos existen ciertos parámetros que por su naturaleza son experimentales. Se hace necesario contar con mediadores que hagan posible el estudio de estos fenómenos, así el trabajo en los túneles de viento puede crear las condiciones para simular el comportamiento de objetos a escala, infiriendo el comportamiento de cuerpos o masas de aire en movimiento. Las ventajas de hacer simulaciones físicas para determinar su proceder posibilita la confrontación entre los procesos y el desarrollo de

técnicas y procedimientos, así como contribuir a inferir los efectos tanto de los sucesos de un momento como las tendencias generales.

Las simulaciones computacionales posibilitan la investigación en todos los campos del conocimiento y se constituyen en prótesis inferenciales en la medida que posibilitan hacer un seguimiento de la evolución espacio temporal de un sistema permitiendo inferir consecuencias interesantes posibilitando la toma de decisiones y el manejo de la información.

Un reciente ejemplo, lo constituye la denominada pandemia generada por la gripe AH1N1. A través del monitoreo de la co-circulación del virus pandémico y de otros virus respiratorios enfatizando en el uso de indicadores cualitativos de la dispersión geográfica y el impacto en los servicios de salud, ha permitido generar una simulación de la propagación que ha posibilitado la generación de políticas públicas para evitar un mayor número de afectados. Aunque hay una limitación en el manejo de todos los factores que influyen, se puede capturar los rasgos fundamentales del fenómeno a estudiar permitiendo hacer predicciones, experimentos y formular modelos de propagación, que tiene que ver con los cambios de estación y la densidad de la población, entre otros.

En el caso de las simulaciones que utilizan los pilotos de combate, estas posibilitan realizar misiones en el simulador de vuelo que les permite ejecutar programas para reproducir condiciones temporales dirigirse a las defensas enemigas, patrullar por todos lados, identificar problemas mecánicos y deshabilitar algunos de los sistemas de su avión. Esto posibilita según los expertos una mayor seguridad al enfrentar los problemas y prepararlos para situaciones de emergencia o de combate.

En las posibilidades de desarrollo de eventos es posible mediante la utilización del código SAGE es posible hacer una simulación del impacto de un asteroide de 10 km de diámetro sobre la península de Yucatán hace 65 millones años, y que según las teorías presumiblemente, desencadenó la extinción de los dinosaurios y de muchas otras especies. Es posible visualizar que ocurrió 42 segundos después del impacto, hacer un seguimiento a la columna de expansión de los escombros del asteroide y la formación del cráter es a unos 100 km de altura. Utilizando colores como indicadores de temperatura es posible identificar que el material más caliente (rojo) está a unos 6000 K, y como el más frío (azul) retorna a temperatura ambiente.

Teniendo como referencia estos ejemplos, es importante indicar cuáles son las virtudes que debe tener una simulación con el fin de elaborar una teoría pragmática de las simulaciones, a partir de la búsqueda de relaciones generales de esas "maneras de inferencia" dentro de una dinámica pragmática de tipo económico. En primer lugar, es importante considerar que tanto detalle en términos de las facetas que permiten deducir la mayor cantidad de perspectivas que pueden ser inferidas por un agente en las condiciones dadas. En segundo lugar es, necesario considerar que tan manejable es una simulación no solo en términos cognitivos sino también en términos tecnológicos. Esto tiene que ver con los recursos que se disponen para manipularlo, modificarlo, adaptarlo y generar actualizaciones. En tercer lugar, que sea adecuado al propósito que se pretende simular permitiendo una evolución acorde a las necesidades.

Estas virtudes toman distancia frente a las condiciones de validación y verificación de las simulaciones asociadas a la eficacia, es decir, la exactitud de las predicciones en función de los parámetros del modelo, la comparación de las predicciones del código con los datos experimentales, la sensibilidad de los resultados a los pequeños cambios en estos parámetros, de tal manera que entra a jugar un papel fundamental la incertidumbre asociada con la elección de estos. Existen varios enfoques para la validación y la verificación a partir de métodos estadísticos y matemáticos posibilitando una amplia gama de resultados que limitan la toma de decisiones.

En general, en la filosofía de la ciencia contemporánea, es importante abrir debates para la discusión de la categoría que debe tener las simulaciones, pues es claro que una descripción de un sistema ya sea físico, económico o social requiere cada vez más de simulaciones computacionales sin que esto se constituya en una descripción "verdadera" acerca del mundo real. Existen condiciones que solo pueden ser alcanzadas por la simulación y en este sentido debe constituirse una agenda de discusión donde todos los aspectos sean evaluados, como lo plantea, Humphreys (2009).

Déjeme poner la novedad principal filosófica de estos métodos de la manera más cruda posible: La ciencia computacional introduce nuevos temas en Filosofía de la ciencia, ya que utiliza métodos que los seres humanos alejan del centro de la empresa epistemológica. Hasta hace poco, la Filosofía de la Ciencia siempre ha tratado a la ciencia como una actividad que los seres humanos analizan y llevan a cabo. Los seres

humanos conservan y utilizan el conocimiento producido por la ciencia. En este sentido, la filosofía de la ciencia ha seguido el camino de la epistemología tradicional, con unas pocas excepciones, como la investigación de la omnisciencia divina, en el estudio del conocimiento humano.

Las investigaciones actuales tienen como eje fundamental el empleo de simulaciones, especialmente las ejecutadas en un ordenador, convirtiéndose en una herramienta metodológica importante en la investigación actual en las ciencias naturales y sociales. Los científicos simulan la formación y desarrollo de estrellas y galaxias enteras, la dinámica detallada de las violentas reacciones de alta energía nuclear así como aspectos del intrincado proceso de la evolución de la vida, mientras que sus colegas de ciencias sociales simulan las estrategias de las guerras, la progresión de la economía y la toma de decisiones en una organización.

En su nivel más fundamental, una simulación se utiliza para recrear una situación real donde la prueba de diferentes estados no sería fácil ni segura. En este caso, utilizarlo ahorra una gran cantidad de tiempo y recursos, y de hecho permite realizar pruebas que serían físicamente imposibles en el mundo real. Cada vez más, los ordenadores se utilizan para las simulaciones. Algunas de ellas, se pueden ejecutar con programas de simulación estándar, y otros requieren un software especial. Cuando se necesita saber el comportamiento de un grupo determinado de personas, como un sistema informático o una tecnológica va a funcionar en una situación determinada, se usan simulaciones. Estas simulaciones son generalmente muy cercanas a la situación, siempre y cuando todas las variables se tengan en cuenta. La simulación por computador puede hacer referencia a un programa de ordenador que simula un modelo abstracto que puede ser estudiado y analizado. También se puede referir a un modelo 3D de gráficos que se utiliza para representar un objeto tridimensional a través del uso de software especializado, donde las visualizaciones entran a formar parte de la práctica científica. Por último, puede referirse a la práctica llamada emulación en el que las funciones de un sistema en particular se reproducen a un segundo sistema, donde un dispositivo puede imitar a otro.

El aspecto preferente de una simulación según Parker (2009) es que una secuencia temporal ordenada de estados sirve a su vez como representación de otra secuencia

temporal ordenada de estados. En cada punto de la primera secuencia, el sistema de simulación debe tener ciertas propiedades para representar la meta del sistema, esto dado en función de la intencionalidad del agente de que un sistema sirva de soporte del otro. Esto no implica, por supuesto, que para un determinado propósito cualquier entidad sirva como representación.

En la práctica, los científicos suelen seleccionar un sistema de simulación<sup>43</sup> sobre dos perspectivas, la primera es que existan similitudes entre la simulación y el sistema de destino, la segunda, hace referencia a que la simulación debe ser lo suficientemente sólida o estable en ciertos tipos de cambios para reflejar el hecho de que el fenómeno es repetible en diversas situaciones en que muchos detalles han cambiado. El mundo está en constante cambio, sin embargo a pesar de ello, vemos los mismos patrones una y otra vez en diferentes situaciones. La idealización posibilita centrarse exactamente en características que son constitutivas de las regularidades, es decir, aquellas que se repiten en momentos y lugares diferentes.

Una simulación por ordenador es una secuencia de estados realizado por un ordenador digital. Esa secuencia representa la secuencia de estados de algún sistema real o imaginario. Una actividad más amplia son los estudios de simulación por computador que incluye la evolución de una simulación, es decir, establecen el estado inicial del sistema de cómputo y provocan su evolución posterior permitiendo recopilar información sobre diversas características de esa evolución, según lo indicado por impresiones, pantallas, etc. Ambas condiciones permiten inferir acerca del sistema de destino. En el caso de la predicción meteorológica, los científicos quieren predecir de manera confiable, con una precisión de unos pocos grados, las temperaturas del

---

<sup>43</sup> Hartmann (1996) considera que las simulaciones permiten a los científicos explorar de manera detallada la dinámica de un proceso real. En muchos casos no es posible por razones pragmáticas extraer esta información experimentalmente: la escala de tiempo resulta ser demasiado grande —por ejemplo, para la evolución de las galaxias— o muy pequeñas —por ejemplo, para las reacciones nucleares—. Las principales funciones de las simulaciones en la ciencia son:

1. Simulaciones como técnica: permiten investigar la dinámica detallada de un sistema
2. Simulaciones como una herramienta heurística: posibilitan el desarrollo de hipótesis, modelos y teorías
3. Simulaciones como sustituto de un experimento: apoyan la realización de experimentos numéricos
4. Las simulaciones como herramienta para los experimentalistas: posibilitan el desarrollo de experimentos de apoyo
5. Las simulaciones como herramienta pedagógica: permiten ganar en la comprensión de un proceso.

mediodía en varias ciudades. Para esto, utilizan los modelos de simulación por ordenador. Y puesto que los científicos saben que el uso previo de algunos de estos modelos con frecuencia tiene éxito en la predicción, con una precisión de unos pocos grados. Esta información puede ser legitimada para extraer conclusiones acerca de las temperaturas sobre la base de las predicciones de los modelos de simulación por ordenador, por lo menos para aquellas ciudades para las que el modelo en cuestión tiene una trayectoria exitosa de predicciones.

Dada la constatación de que los procesos son tratados por las diferentes disciplinas científicas, es evidente que las simulaciones demuestran ser una poderosa herramienta interdisciplinaria. En consecuencia, las simulaciones son las más adecuadas para investigar las diferentes estrategias de investigación en las diferentes ciencias. Los científicos a menudo se comprometen con simulaciones por ordenador cuando no pueden resolver ecuaciones analíticamente. Por lo general, las ecuaciones son discretizadas, simplificadas y manipuladas hasta que estén en una forma tal que las soluciones se pueden estimar usando métodos que requieran de cálculos que el ordenador pueda ofrecer, las ecuaciones resultantes son las que aparecen en el programa que genera la simulación por ordenador, es decir, son las ecuaciones programadas. Normalmente una simulación por ordenador ofrece en el mejor de los casos, soluciones aproximadas a las ecuaciones del modelo matemático que los científicos, sobre la base de los antecedentes teóricos y otros conocimientos disponibles del sistema de destino, que más le gustaría utilizar para representar el sistema.

Pero no es un solo ejercicio pragmático, las simulaciones por computador no se constituyen en un medio para encontrar soluciones a problemas prácticos. En el mundo actual de extraordinaria capacidad de computación, otras prácticas desempeñan un importante papel en la investigación de los fenómenos físicos. Por ejemplo, cuando se quiere exhibir las características dominantes del sistema, se puede llegar al caso de una simulación que muestra el límite de la física fundamental.

Para avanzar en estudios de caso es conveniente distinguir entre las simulaciones de continuos y discretos. En una simulación continua tanto la estructura subyacente del espacio-tiempo, como el conjunto de estados posibles del sistema se asume como continua. El modelo dinámico correspondiente está convenientemente formulado en el lenguaje de las ecuaciones diferenciales. Las simulaciones discretas se basan en una

estructura discreta del espacio-tiempo desde el principio. Por otra parte, el conjunto de posibles estados del sistema se supone que es discreto. El lenguaje apropiado para la simulación discreta son los denominados autómatas celulares (AC)<sup>44</sup>. Aquí, el estado de una célula del sistema en un tiempo  $t_{i+1}$  sigue al estado de las células vecinas desde un tiempo  $t_i$  de acuerdo a ciertas reglas. Cabe mencionar aquí que la integración numérica de una ecuación diferencial también utiliza una solución discreta del espacio-tiempo.

Como ejemplo cualitativo, se busca comprender el comportamiento de un gas que se mueve a través un tubo. Si a un conjunto de las moléculas se les da un impulso (digamos por soplado en el tubo en un extremo), entonces ellos comenzarán a moverse hacia una región más densa que separa dos regiones con menor densidad molecular. En toda esta región, las moléculas intercambiarán entre sí el impulso como si una especie de membrana permeable estuviera presente. La región ocupada por la "membrana" está en un choque continuo. Es muy difícil de rastrear el comportamiento de una molécula individual que se mueve a través del tubo y que está sometida a colisiones. Pero para hacer un estudio más adecuado del sistema, los científicos normalmente se acercan al estudio del problema mediante la adopción de un límite continuo. Esto es, modelizar las moléculas en el tubo como si se trataran de fluido continuo. Ese límite se reducirá a una región de choque en una frontera de dos dimensiones. A ambos lados de la frontera, el comportamiento del fluido se regirá por ecuaciones diferenciales parciales de la mecánica de fluidos. Esto permite comparar los parámetros que aparecen en la ecuación en cuanto a su importancia o "tamaño" a pesar de que se han expresado en diferentes unidades.

---

<sup>44</sup> Un autómata celular (A.C.) es un modelo matemático para un sistema dinámico que evoluciona en pasos discretos. Consiste en una regla dinámica que actualiza de forma sincrónica una variable discreta, definido en los sitios —células— de una red  $n$ -dimensional. Los valores del observable se toman como un conjunto finito. La misma regla de transición —local— se aplica a todas las células de manera uniforme y simultánea. Es adecuado para modelar sistemas naturales que puedan ser descritos como una colección masiva de objetos simples que interactúen localmente unos con otros. A.C se utilizan en una variedad de contextos de modelización. Sus capacidades de modelado se basan en sus propiedades matemáticas, en particular, el estudio sistemático de las configuraciones recurrentes, ya que caracterizan la evolución temporal asintótica de un sistema. Estos sistemas dinámicos abstractos juegan un papel en las matemáticas discretas comparables al papel de las ecuaciones con derivadas parciales en las matemáticas de la continuidad según lo expresan Toffoli y Margolus (1990).

Además, se hace necesario simplificar, esto quiere decir, introducir límites que implican parámetros aproximados a cero o al infinito. Como el comportamiento a través de la frontera no se rige por ninguna ecuación diferencial, sino más bien por las condiciones algebraicas pues después de todo, el límite se reduce a dos dimensiones. Por lo tanto, el límite continuo proporciona un medio para hacer caso omiso a detalles sobre las interacciones moleculares en el estudio de los choques. Lo más importante es la adopción de límites que imponen restricciones matemáticas a las ecuaciones o fórmulas que representan el fenómeno de interés. Esto permite representar las características dominantes del fenómeno adecuados a la naturaleza de la representación matemática. Esta representación, a su vez, conlleva a investigar en detalle la naturaleza de las obligaciones impuestas.

Esta parte normativa está construida sobre las condiciones en las que se produce el fenómeno y deben verse reflejadas en la simulación. La cuestión es dónde trazar el límite a los factores que tienen un efecto sobre el fenómeno, separando los que generan interferencias y las que caracterizan al fenómeno. En este punto entran en juego los compromisos doxásticos de los agentes, es decir, los compromisos pragmáticos referidos a la intervención y la predicción que le ayudan a satisfacer sus metas. Un agente no solo tiene opciones para evaluar la disposición de la información, sino también la respuesta a la evidencia, en este sentido el agente es fundamental en la extracción de inferencias.

La descripción de la evolución temporal de un sistema real mediante simulaciones permite llevar a cabo experimentos numéricos que posibilitan la extrapolación de los datos en dominios inaccesibles experimentalmente que apoyan los experimentos y proporcionar una heurística útil para desarrollar nuevos modelos y posiblemente teorías. Este es el caso del estudio de la física al interior de una supernova<sup>45</sup>. Los modelos de

---

<sup>45</sup> Una supernova es la explosión de una estrella masiva que se está enfriando y colapsa porque literalmente "se queda sin gas" al consumir todo su combustible por la fusión nuclear. El delicado equilibrio entre la presión del calor y la gravedad que mantiene la superficie de una estrella en su lugar se ha alterado, y se ve sometida a un colapso sobre sí misma. Éste continúa hasta que la estrella alcanza una zona de "rebote" de la densidad nuclear, donde la resistencia nuclear tiene un mayor colapso, tomando direcciones inversas al núcleo que cae y explota hacia el exterior, provocando la explosión de una supernova. El remanente que se comprimió hacia adentro por el rebote se convierte en una estrella de neutrones o un agujero negro, dependiendo de la masa de la estrella original. Todo el proceso es alimentado por la gravedad que actúa sobre la materia que cae y la conversión de parte de la masa de la estrella en energía.

ordenador son utilizados por los astrofísicos para poner a prueba su comprensión de cómo funciona una supernova. Un modelo informático es un programa en el que se codifica toda la física conocida y que es relevante para el estudio de las supernovas: cómo se comporta la materia de las estrellas ante temperaturas y presiones extremas que se producen durante una supernova, como las ondas de choque se forman y se propagan, como la energía se transfiere de una forma a otra, como las reacciones nucleares funcionan en las estrellas, entre otras. Todos estos procesos de una supernova se modelan en el ordenador.

Mientras corre el reloj del ordenador, la explosión se inicia y continúa, paso a paso pero hasta cierto punto donde se produce un problema. A medida que la onda de choque se propaga hacia el exterior, se encuentra con la materia que cae a través del flujo en dirección opuesta. Cuando la onda de choque alcanza un radio determinado, se ahoga. Su movimiento hacia el exterior se detiene porque se han igualado las velocidades y ha cedido su energía a la materia que se mueve a través de él. Así, en la simulación del ordenador, nunca ocurre la explosión. La violenta explosión de la supernova, en la simulación por ordenador, se convierte en un sonido tranquilo. La naturaleza puede hacer que las supernovas exploten pero los científicos no logran que los ordenadores simulen este fenómeno.

La ausencia de explosión de supernovas en los modelos computacionales, provocó una cuidadosa revisión de todos los procesos físicos que se incluyen en los modelos. Pronto se advirtió que participación de los neutrinos podría ayudar a resolver el problema. Cuando la parte central de la estrella en colapso alcanza la densidad nuclear, se convierte energéticamente favorable para que un protón atrape un electrón cercano y produzca la emisión un neutrino<sup>46</sup>. El protón queda eléctricamente neutro y la repulsión eléctrica, que lo estaba llevando a un estado de mayor energía desaparece. La estrella en explosión desarrolla una estrella de neutrones en su núcleo, y un flujo de neutrinos hacia el exterior, uno por cada neutrón. Un gran número de neutrinos son producidos de esta

---

<sup>46</sup> Los neutrinos son partículas que no “sienten” la fuerza nuclear fuerte ni la electromagnética, puede viajar a través de un espesor de más de un año luz de plomo macizo, antes de sufrir un solo choque. Esta partícula fue postulada por Pauling (1930) y denominada por Fermi “neutrino” que en italiano quiere decir “pequeño neutro”. Su detección se logró 25 años después por Cowan y Reines cuando bombardearon los protones de una gran cantidad de agua.

manera. Cuando llegan a la onda de choque le agregan una gran cantidad de nueva energía proveniente del colapso del núcleo.

Se pensaba que el secreto de la explosión de la supernova se había encontrado, que la dispersión elástica de los neutrinos proporcionaría el empuje suficiente para reiniciar la onda de choque de la supernova y permitir la explosión en la simulación del ordenador como el dado en el cielo. Al final resultó que, este empuje adicional no era suficiente. Cuando el efecto de la dispersión de neutrinos se incluyó en los programas de ordenador se pensó haciendo hipótesis extremas que el proceso de las ondas de choque se reiniciaría y generaría explosiones.

Pero los resultados obtenidos en las simulaciones distan mucho de las explosiones de supernovas observadas en galaxias lejanas. El consenso entre los astrofísicos es que una pieza de la física todavía faltaba en los modelos de ordenador, que la última pieza del rompecabezas aún no había sido encontrada.

Esta nueva pieza de la física fue propuesta por Haxton y Woosley (1988), donde es posible aumentar la energía y el impulso transferido de los neutrinos de la onda de choque y ayudar a producir una explosión de supernova más realista en las simulaciones, cuando estos nuevos hallazgos se incluyan en las simulaciones. Estos científicos consideran que los núcleos tienen un modo de excitación, una manera de contener el interior de la energía por las vibraciones, que se llama una resonancia "gigante".

En una resonancia vibratoria gigante de los neutrones se agitan en una dirección en el núcleo, mientras que los protones se agitan en otra dirección, moviendo la carga eléctrica neta del núcleo adelante y atrás, dejando el centro de masa del núcleo sin ser perturbado. Se propuso recientemente que los neutrinos dispersos en el núcleo pueden desencadenar esta vibración, dejando una parte considerable de su energía en el núcleo.

Todas estas consideraciones que posibilitan la simulación de una supernova, permiten concluir que lo que se busca desde los resultados de la simulación es inferir factores<sup>47</sup> que se dan en los resultados empíricos, además de ser una fuente de conocimiento sobre

---

<sup>47</sup> Donato y Zamora (2009) proponen tres pasos en la elaboración de inferencias: Inmersión, Derivación e interpretación, que se toman como referencia para el análisis de la simulación de las supernovas.

el fenómeno. De esta manera, en la primera formulación de la simulación, el sistema empírico se interpreta en términos de la estructura del modelo teórico, se hacen algunas inferencias a partir de los datos empíricos y se materializa en la simulación, mediante leyes de la física que describen el sistema.

En el segundo momento aprovechando la revisión de todos los procesos físicos derivados de la interpretación de los resultados de la simulación, se hacen inferencias formales en el modelo. Estas inferencias están dadas en el sentido de buscar idealizaciones y asunciones contrafácticas que permiten hacer correcciones al modelo, en este caso la consideración de que los neutrinos podrían ayudar a resolver el problema.

En el tercer momento algunas de las conclusiones derivadas de esta manera son re-interpretados o traducidos en términos del sistema empírico, por supuesto esta nueva interpretación es en sí mismo una inferencia, ya que permite tener la sensación de estar más cerca de la “realidad”, en este caso la inclusión en la simulación de la resonancia vibratoria, se espera que sea la pieza que falta para la simulación de la explosión de la supernova en el ordenador sea una realidad. En conclusión el conocimiento inferencial obtenido de la simulación de las supernovas actúa como una “prótesis inferencial” y valida la afirmación de Donato y Zamora (2009) “Todo nuestro conocimiento está mediado por redes inferenciales”.

Las simulaciones en física también tienen un profundo arraigo en la búsqueda de criterios que les permitan ser adecuadas al fenómeno que quieren representar, haciendo de esta una buena simulación. Aplicando las virtudes, descritas a los modelos en el capítulo III, podemos indicar que la verosimilitud es importante para las simulaciones. Pues a través de esta, los agentes, crean representaciones de la realidad, de cuya eficacia resulta su verosimilitud, de la cual, a su vez, deviene su capacidad de “sustituir” a la realidad. La extracción de inferencias a la luz de los compromisos de los agentes construirán las adecuaciones a esas sustituciones, que se llamará "la realidad".

La consideración de verosimilitud, lleva a la necesidad de hacer una evaluación para que determinar en qué condiciones se acepta una simulación, resultado de una serie de negociaciones y el establecimiento colectivo de normas que promueven su validez epistémica y pragmática, Zamora (2003a). El éxito de las acciones, desempeña el

mismo papel que la verdad de las afirmaciones, en este sentido, el objetivo no está en las propiedades del uso sino en el significado que es el resultado de las prácticas, es decir, tiene una dimensión social y los agentes que tienen un papel epistémico son los grupos y las instituciones en vez de simples individuos. El valor de una norma determinada, en un contexto determinado, en la solución de un problema particular, es el resultado de la discusión de los miembros de estos grupos o las instituciones y no se puede decidir a priori por un análisis conceptual.

En este sentido, las simulaciones se constituyen en herramientas de inferencia que ayudan a extraer inferencias acerca de la meta en relación con unos objetivos específicos. En este sentido, las simulaciones pueden ser entendidas como una serie de compromisos interconectados mediante normas inferencial que permiten explicar y predecir fenómenos de una manera relevante.

En su nivel más fundamental, un simulador de ordenador se utiliza para recrear una situación real donde probar diferentes estados no sería fácil ni seguro. En este caso, utilizando un simulador de computador ahorra una gran cantidad de tiempo y recursos, y de hecho puede permitir pruebas que son físicamente imposible en el mundo real. Las simulaciones por ordenador son utilizadas en la ingeniería y la ciencia desde hace algún tiempo, debido a que su virtud de fiabilidad está referida, a un hardware cada vez más sólido, y a un software más sofisticado, logrando más y mejores resultados.

Un ejemplo de uso de un simulador de ordenador puede ser una empresa de ingeniería que trabajan en el diseño de una mejor ala para los aviones. En lugar de gastar recursos la construcción de prototipos para cada nuevo diseño, y someterlas a prueba en túneles de viento o en aviones reales, la simulación se puede ejecutar en su lugar. Si la dinámica de los fluidos del viento está perfectamente recreada, cualquier número de variables puede ser modificado para poner a prueba un ala virtual en un millón de escenarios diferentes, algunos de los cuales podría ser imposible de recrear en el mundo real. Además, si un diseño resulta no ser ideal, puede ser fácilmente modificado y comprobado, sin la necesidad de crear un nuevo objeto físico. De este modo, cientos o miles de diseños pueden ser juzgados en un período relativamente corto de tiempo, lo que permite un mayor grado de sintonía fina de lo que sería posible. Estos procedimientos se consideran válidos y de esta manera, los ingenieros y científicos

están comprometidos a creer en su eficacia porque es método unánimemente reconocido como tal por la comunidad que ella pertenece y es consecuencia lógica de otros compromisos.

Otra virtud que se puede atribuir a las simulaciones, es la función de éxito, determinada según Zamora (2003a) por el grado de utilidad que logre alcanzar. El método de Montecarlo es un método estadístico numérico utilizado para aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud. El método se llamó así en referencia al Casino de Montecarlo (Principado de Mónaco) por ser “la capital del juego de azar”, al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Montecarlo datan de 1944 y con el desarrollo de los ordenadores y su enorme poder de cómputo fue posible aplicar el método Monte Carlo a problemas más generales. Una de sus primeras aplicaciones fue en el diseño de la bomba atómica. No obstante, debido a su versatilidad el método ha llegado a tener un sin fin de aplicaciones que cubren tanto las ciencias exactas como las ciencias sociales. Los físicos usan este método para cualquier tipo de estimación o simulación que requiera un procedimiento estocástico, siendo más adecuado para las estimaciones reservadas a las integrales y promedios.

Las simulaciones basadas en el método Monte Carlo utilizan un procedimiento de estimación. La idea básica es la siguiente, si se quiere saber el valor promedio de una variable aleatoria, por ejemplo, una función compleja de variables con distribuciones sencillas, o la distribución como factor de "función de partición" en la mecánica estadística, para calcularla, basta con tomar muestras, de forma independiente, y el promedio de ellas. Si se toman datos suficientes, entonces la ley de los grandes números dice que su promedio debe estar cerca del valor real. El teorema del límite central dice que su promedio tiene una distribución gaussiana en torno al valor verdadero.

Aquí está uno de los ejemplos canónicos. Digamos que usted desea medir el área de una figura con un contorno irregular complicado. El enfoque Monte Carlo permite dibujar un cuadrado alrededor de la forma y medida de la plaza. Ahora, consideremos que la tarea es lanzar dardos a la plaza, lo más uniformemente posible. La fracción de los dardos que caen determina la relación que existe entre la forma y la zona de la plaza seleccionada. Con esta consideración, se puede convertir casi cualquier problema integral, o cualquier otro problema de promedios. Así que necesitas una buena manera

de saber si está dentro del contorno, y necesitas una buena manera de averiguar cuántos dardos se deben desechar. Por último, se necesita una buena manera de lanzar los dardos de manera uniforme, es decir, un buen generador de números aleatorios.

Teniendo en cuenta esta perspectiva, la búsqueda de criterios para las simulaciones, no solo deben tener como base la explicación de un cierto conjunto de fenómenos, sino también hacer más coherente y viable la red de compromisos anteriores. Donato y Zamora (2009), la denominan capacidad “iluminadora”, indicando que la adición de una nueva reclamación o hipótesis en el conjunto de compromisos sirve para aumentar las inferencias exitosas frente a las que no lo son, permitiendo hacer correctas y útiles "predicciones", que en un este sentido general, sería el factor principal que explica el valor de una serie de compromisos.

#### **4. 3 Credibilidad de las simulaciones**

Un planteamiento fundamental de esta tesis es considerar el trabajo de Donato-Zamora (2009) para dar cuenta que las simulaciones, al igual que los modelos, proporcionan un vínculo entre la teoría y la realidad. A partir de esta afirmación surge la pregunta, ¿en qué se basa la credibilidad de las simulaciones o de qué forma pueden ser validadas? Obviamente, si las simulaciones son parcialmente independientes de la teoría, no podemos confiar solo en la credibilidad de la teoría sino en tres fuentes diferentes, que según el planteamiento de Arnold (2010) son:

1. La teoría y el conocimiento creíble: en la medida en que hace uso de las teorías, la credibilidad de las simulaciones depende de la credibilidad de la teoría en la que se apoya. La validez de la simulación depende entonces de qué tan fiel es a las teorías que la soporta.
2. Aprobación de las técnicas de simulación: la credibilidad de las simulaciones está dada en función de las técnicas empleadas para su construcción, como lo señal Winsberg (2006). Estas técnicas, a su vez son creíbles, ya sea porque se ha analizado o probado su fiabilidad o simplemente porque que se han empleado con éxito en el pasado Para validar este aspecto de las simulaciones se tiene que indagar por la fiabilidad de las técnicas de simulación y modelización y comprobar si han sido empleadas correctamente.

3. El éxito de las pruebas empíricas: por último, la credibilidad también debe estar en concordancia con el sistema representado según la evaluación de las pruebas empíricas. De hecho, uno de los usos más importantes de las simulaciones por ordenador como sustitutos de experimentos se da en los casos en que los experimentos son costosos o imposibles de realizar.

La relación mutua entre estas tres fuentes está dada a través de dos conjeturas: i) la referencia de las validaciones empíricas anteriores, que conlleva a establecer como criterio de validación la primacía epistémica de los hechos empíricos de la ciencia. Esto se traduce en afirmar que si una simulación no es validada en cuanto a sus supuestos teóricos o técnicas de simulación pero resiste la prueba empírica, entonces la simulación sigue siendo aceptada aunque sea solo parte de un modelo fenomenológico; ii) debe existir una sinergia entre las fuentes de credibilidad, lo que implica que al menos se debe confiar en una de las tres fuentes mencionadas anteriormente y establecer criterios de confiabilidad posteriores para las fuentes restantes. Por ejemplo, si la prueba empírica no es posible, entonces se debe tener confianza en una teoría o en los conocimientos y técnicas de simulación que sean validadas empíricamente de manera directa. Esto se denomina “simulaciones con control de entrada” y “simulaciones con control de salida”. Algunas simulaciones pueden ser de tanto de entrada como de salida controlada. Esta distinción es significativa, ya que las simulaciones tienen asociadas diferentes modos de validación. Esto no supone una fiabilidad relativamente mayor o menor, pero es lógico que los diferentes niveles de credibilidad o fiabilidad puede estar asociada con simulaciones de entrada o salida en contextos específicos.

Sin embargo, hay más que puede decirse acerca de la credibilidad de las simulaciones teniendo en cuenta los planteamientos dados en el capítulo III. Sobre todo para justificar por qué los términos "modelo" y " simulaciones por ordenador" no se utilizan de manera sinónima en esta tesis.

En cuanto a la naturaleza y el papel epistémico de simulaciones por ordenador, aún no existe un consenso definitivo por parte de los filósofos de la ciencia. No es la intención entrar en las disputas filosóficas sobre el tema, sino entrar a considerar las razones por las cuales los términos simulaciones y modelos no tienen la misma connotación en este trabajo, teniendo en cuenta la pragmática normativa de Brandom (2004), se puede establecer que:

1. La capacidad de alcanzar cierto entendimiento en sentido inferencial permite establecer que los procesos de idealización-concreción tanto de los modelos como las simulaciones tienen rutas diferentes.
2. El poder explicativo en el sentido de la capacidad para hacer "predicciones" correctas sería un factor principal que manifiesta el valor de conjunto de compromisos que deben tener cada uno de los mediadores.

Los modelos tienen una gran carga de idealización por cuanto esta se hace en favor de la simplicidad que oscila entre dos extremos, reducir la complejidad de los sistemas<sup>48</sup> del mundo y tener cuidado que las idealizaciones no sean tan extremas pues se pierde la capacidad para demostrar que estos supuestos son aproximadamente "verdaderos". Estas dos condiciones parece no ser problemáticas para las simulaciones, que pueden cada vez soportar un mayor número de variables, asumiendo sistemas complejos y variados en una dinámica temporal que permite abarcar desde micro hasta macroprocesos. Cuando se tiene la tarea de estudiar sistemas de mayor complejidad, la tarea matemática de describirlos es cada vez más amenazadora. Las simulaciones son de gran ayuda para hacer frente a la complejidad. Pero, no hay que llevarlo a la visión ingenua de un cálculo científico: los equipos de computación proporcionan la velocidad necesaria para llevar a cabo un gran número de operaciones matemáticas, y el seguimiento de muchas variables.

Según Rohrllich (1990), el uso de autómatas celulares (CA) en las simulaciones en vez de las ecuaciones diferenciales de los modelos permiten que: (1) el espacio y el tiempo sean tratados como variables discretas, (2) todas las células pueden tomar un conjunto

---

<sup>48</sup> La complejidad de los sistemas se puede entender de varias maneras. La primera es la identificación por el número de componentes a menudo llamados "objetos", "cuerpos", o "partículas": el átomo de helio tres elementos, un núcleo y dos electrones, la molécula de ADN tiene miles de nucleótidos, o nuestra galaxia que contiene cientos de miles de millones de estrellas.

El problema de los dos cuerpos en la dinámica newtoniana puede ser reducido al problema de un solo cuerpo y se establece una interacción entre ellos. El sistema de tres cuerpos no puede ser reducido y contiene tres interacciones entre los tres pares de cuerpos. En general, el problema de n-cuerpos implica  $n(n-1)/2$  interacciones entre los pares. Por lo tanto, si se utiliza el número de interacciones como una medida de la complejidad, este se incrementa como  $n^2$ .

Otra medida de la complejidad utilizado en el análisis teórico es el número de grados de libertad,  $f$ . En el caso de una sola partícula libre,  $f=3$ , ésta puede moverse en tres direcciones independientes;  $f = 3N$  para un gas de  $N$  partículas.

finito de valores, y (3) los valores se determinan de forma sincrónica por una regla fija que implica el barrido de una celda. Los modelos utilizan una sintaxis matemática, mientras las simulaciones utilizan una lógica. Esta diferencia es de suma importancia puesto que la herramienta matemática para el estudio de la evolución de un sistema en el caso de los modelos han sido las ecuaciones diferenciales. La mayoría de estas no son integrables y sus soluciones analíticas no están disponibles en la mayoría de los casos. El uso de los ordenadores se convierte en una necesidad, pero en un quipo estas ecuaciones tiene que ser integradas numéricamente lo que implica errores de redondeo, causando errores de computación que aumentan con el tiempo.

El uso de los autómatas celulares en las simulaciones no presenta ninguno de estos problemas:

1) no hay errores de redondeo ya que la evolución de un modelo de CA puede ser seguido por un período de tiempo arbitrario sin ninguna pérdida de exactitud lo que sea: los resultados son siempre exactos debido a la naturaleza de la entidad emisora.

(2) El método de CA es ideal para ordenadores digitales —especialmente los que tienen arquitectura en paralelo— pues se convierte en un algoritmo simple.

(3) El método de CA se puede aplicar fácilmente a los modelos de sistemas complejos que involucran muchos grados de libertad. Las ecuaciones diferenciales se limitan a un pequeño número de grados de libertad y se vuelven inmanejables a medida que aumenta la complejidad.

(4) Puesto que hay aproximaciones involucradas en la aplicación de las teorías —todos los cálculos son exactos—, cualquier desacuerdo entre el modelo y los datos empíricos se debe a la teoría que sustenta la simulación.

(5) El problema de la previsibilidad adquiere una forma muy diferente. Ya no es lo impredecible el caos determinista, que es el modo dominante de la solución. Por el contrario, se distinguen cuatro tipos de sistemas susceptibles al método de CA cada uno con un tipo diferente de previsibilidad (Wolfram, 1984). Clase I: la previsibilidad es trivial; Clase

II: la previsibilidad solo depende de las condiciones locales del inicial; Clase III: la previsibilidad requiere un número cada vez mayor de datos iniciales a medida que aumenta el tiempo; Clase IV: el sistema es impredecible.

(6) Los sistemas de clase II muestran un comportamiento de auto-organización: en el tiempo surgen nuevas estructuras de sin condiciones iniciales. Esta es una nueva característica fascinante. Demuestra que en los sistemas complejos no solo puede surgir el caos de orden, sino también a la inversa, el orden puede surgir del caos.

En términos de los procesos inferenciales, las simulaciones ofrecen una mayor posibilidad de obtener conclusiones relevantes de los fenómenos estudiados. Su condición visual contribuye al estado deóntico de los agentes en cuanto a su percepción intuitiva, pues le permite confirmar o corregir las ideas preconcebidas y buscar condiciones de mejoramiento. En este sentido, las simulaciones por ordenador tienen algo en común con los experimentos mentales propuestos por Kuhn (1964) y Humphreys (1990). Mientras que los experimentos mentales contribuyen a la solución de "crisis" en términos de Kuhn, también son de uso diario en el diseño de nuevos experimentos.

Los compromisos doxásticos, prácticos e inferenciales que tienen los modelos y las simulaciones se evidencian en la búsqueda de explicaciones. Entendida ésta como un juego de persuasión, según Zamora (2006), referida a los tipos de razones por las se puede persuadir a otros científicos de que el modelo o simulación es aceptable. En este juego de persuasión, las explicaciones se utilizan como movimientos dirigidos hacia la aceptación de unas predicciones o hipótesis explicativas. Desde un punto de vista pragmático, el problema no es solo si la mejor explicación disponible es la "prueba" de unos hechos, sino si se supera o no el nivel de calidad para establecer si una teoría para convertirse en aceptable. Así, en el juego de la persuasión, si se tiene la explicación de algún hecho esta es solo una de las posibles "buenas razones" que se acumulan con el fin de persuadir a sus colegas que el modelo o simulación debe ser aceptada.

Desde este punto de vista, las simulaciones y los modelos mantiene una relación estrecha, ya que pueden partir de los mismos marcos conceptuales y teóricos y tener el mismo éxito empírico instrumental, pero distan en el nivel de aceptación que tienen

entre los investigadores. Desde este punto de vista, las simulaciones por ordenador se constituyen en una pieza clave de visualización mientras que los modelos se construyen a partir de procedimientos de análisis diferencial y de integración. Teniendo en cuenta el giro pictórico<sup>49</sup> que indica un cambio de perspectiva, hoy por hoy las simulaciones por ordenador ganan terreno frente a los modelos numéricos.

#### **4.4 Recapitulación**

Las simulaciones por ordenador se constituyen en una herramienta nueva y revolucionaria de la ciencia y esta es la razón principal por la cual algunos filósofos como Humphreys (2004) y Winsberg (2001) reclaman que debe plantearse un nuevo tipo de filosofía con una epistemología propia que de crédito a sus elementos distintivos. Sin embargo, hay quienes afirman, como Frigg y Reiss (2009), que las simulaciones por ordenador no plantean ninguna cuestión filosófica nueva o sustancialmente diferente de los aspectos que trata la filosofía de la ciencia.

Según Winsberg (2001), una de las características epistemológicas de las simulaciones es que son construidas "hacia abajo", es decir, a partir de una teoría, son "autónomas", pues se cimientan a partir de datos empíricos que no pueden estar disponibles o son escasos para el proceso de simulación, pueden ser parcialmente independientes de la teoría, ya que pueden mezclar libremente hipótesis ad-hoc, y suposiciones de antecedentes teóricos. Con relación a estas características, Frigg y Reiss (2009) afirman que no hay razones para sostener que el resultado de una simulación es creíble solo porque se cumplen estas tres condiciones, pues hay modelos que cumplen con estas y cuyos resultados no son confiables. Según Arnold (2010), el énfasis en la novedad de las simulaciones puede desviar la atención de cuestiones relevantes como los problemas de validación, la semántica de las diferentes simulaciones, la dinámica temporal de las simulaciones, sus condiciones epistémicas y las diferencias que mantiene con los experimentos. Como cualquier otra herramienta de investigación científica, las simulaciones proporcionan un marco riguroso para el razonamiento, ya que su robustez

---

<sup>49</sup> Casanueva (2009) hace referencia que lo pictórico no solo se reduce a lo gráfico y figurativo o a representaciones técnicas como mapas, diagramas, sino que abarca aspectos como el color, la textura y la vibración de las imágenes que incluso puede llegar a lo psicológico.

y la intervención que puedan hacer sobre la realidad nos aportan elementos para comprender el mundo.

Este es un debate que apenas empieza y sobre el cuál no se toma ninguna posición en esta tesis. Siguiendo la línea de discusión en el terreno pragmático, se hace énfasis en los modelos y simulaciones mantiene el mismo estatus filosófico pero no son términos sinónimos en cuanto a sus procesos de idealización-concreción y su poder explicativo en el sentido de los compromisos que asumen las comunidades científicas frente a cada uno de estos mediadores entre la teoría y la realidad empírica.

## CONCLUSIONES

En el contexto de esta tesis, indagar por el carácter de las representaciones desde una perspectiva pragmática implica, primero, hacer una mirada a las diversas posturas que desde la sociología de la ciencia y las formulaciones lingüísticas se hacen para defender la concepción inferencialista de la representación, a partir de la identificación de sus principales características. Esta postura es fundamental frente a la reducción de la representación a compromisos sociales y formulaciones lingüísticas.

Conocer, comprender y actuar en el campo de las representaciones como compromiso social implica ahondar en la jerarquía de los elementos que la constituyen y las relaciones que esos elementos mantienen entre sí, que solo admite determinaciones sociales en la comprensión de los objetos representacionales.

La naturaleza del objeto<sup>50</sup> y el sistema de valores y normas sociales que forman el contexto ideológico de los grupos sociales o de las instituciones sociales se constituyen en los elementos esenciales de la representación, pues es a partir de la vinculación de ideas mediadas por la realización de acciones concretas que éstas se cristalizan, solidifican y estabilizan.

En la relación sujeto-realidad, la objetivación, definida como la transformación de una idea, de un concepto o de una opinión en algo concreto, y el anclaje, como un proceso figurativo y social, determina el significado de una representación. Al mismo tiempo, ambos contribuyen a su organización interna desde la cual es evocada, concretizada y diseminada como si fuera algo real de aquello que se quiere conocer.

Toda representación de lo real es social y, por lo tanto, refleja —es reflexiva con respecto a— la sociedad que lo produce. El sujeto es parte del objeto y el conocimiento es intersubjetivo, pues cada individuo y cada sociedad lo interpreta conforme a sus metas y capacidades, según los usos que les dé y la manera como evalúe sus efectos y

---

<sup>50</sup> Según Iranzo y otros (1995), “*objeto*” es una hermosa palabra cargada de ambivalencias, pues —si el debate donde se la emplea exige— puede querer decir tanto *hecho* — ahí afuera, objetivo y real— como *concepto* — aquí dentro, objetivamente construido, verdadero—. John Law lo llama actor-red (1987), Michael Callon (1986) actante y Bruno Latour (1988) entelequia”

resultados. Las relaciones sociales son entendidas a partir de procesos de cambio, ambivalencia y yuxtaposición, en el que intervienen de manera activa tanto los sistemas representacionales como las dinámicas propias de configuración y cambio de la estructura social.

La reducción de los objetos de representación a compromisos sociales conlleva a mirar la representación con una formulación lingüística o modelística fija. Es así que desde la formulación inferencialista se toma distancia frente a la representación como compromiso social, donde lo fundamental de esta postura es que los sujetos son considerados como agentes cognitivos que constituyen sus conocimientos de modos inferenciales de acuerdo a las circunstancias que los rodean y de acuerdo a consenso que hacen que una comunidad establezca criterios y actúe de acuerdo con ellos en la mayoría de las ocasiones.

La concepción inferencial de la representación tiene, además, otras características que hacen que sea considerada relevante en el desarrollo de esta tesis. Busca capturar lo esencial de la representación sin compromiso de una definición acerca del tipo de relación que se trata en la representación, ya que pueden ser de diferentes tipos. El no asumir ninguna explicación formal de la relación de representación, le permite tomar distancia de las concepciones que tienen como referente la noción de similaridad como la asumida por Giere (1988), la concepción estructuralista, basada en la noción de preservación de estructura o morfismos de Suppes (2002), o de la búsqueda de una teoría general, Ibarra y Mormann (2000), que de condiciones necesarias y suficientes para la representación que incluye la homología, más general y abstracta que la preservación de estructura.

El “poder inferencial”, es decir, el tipo y el nivel de competencia para hacer inferencias, es una habilidad pragmática que depende de los fines del agente y del contexto en el cual se dan las representaciones y desarrolla sus acciones. Según Suárez (2004), un agente S tiene la intencionalidad de representar W —cierto aspecto del mundo—. Esto significa que la representación científica no puede reducirse a una representación objetiva. El agente es necesario en la extracción de inferencias: La fuente A permite al agente S —quién es un agente competente e informado— extraer inferencias específicas del objeto representado B, es decir, sobre las bases de las propiedades de A, S puede inferir algunas conclusiones acerca de B.

Siguiendo la propuesta de Suárez, las acciones de los agentes no se conciben bajo una imagen diádica, objeto-representación, sino en un contexto de las actividades del agente en su interacción con la realidad, es decir, una relación triádica donde las decisiones por parte de los científicos permiten aceptar una variedad de tipos de representación y de prácticas representacionales movilizadas a través de una variedad de mediadores, como lo expresan Morrison y Morgan (1999), entre los que se encuentran los modelos, los instrumentos, los diferentes ámbitos de aplicación, los agentes, los escenarios.

En los últimos años ha tomado fuerza el estudio de las representaciones hacia los mediadores que producen relaciones representacionales reales, en un contexto concreto, sin reducirlos a instrumentos o medios técnicos. Morrison y Morgan (1999) ofrecen una imagen de las representaciones como entidades autónomas que pueden analizarse independientemente. Los modelos son “mediadores” entre la teoría y los datos, y no se derivan directamente de estos. De esta manera, toma relevancia el análisis de los modelos como representaciones de la realidad.

El debate aquí presentado da cuenta de la indispensable e imprescindible funcionalidad que tiene el tema de las representaciones en el ámbito de la Filosofía de la Ciencia. Por cuestiones puramente prácticas, se han obviado otras rutas de entrada que en el debate actual se han abierto en relación con el tema de los procesos representacionales y el papel distintivo en cada una de las ciencias. Se ha querido hacer énfasis en las imbricadas relaciones entre representaciones y los modelos desde una perspectiva pragmática. De todas maneras, lo cierto es que del análisis expuesto la primera conclusión que se puede vislumbrar es que se hace necesario mantener el debate a través de las cuales los modelos como mediadores se vuelven mecanismos transpersonales de aprehensión de la realidad y constructores de explicaciones, dejando a un lado la preferencia consagrada a los procesos cognitivos, a través de los cuales se producen tales representaciones, tendencia que marcó al estructuralismo.

La segunda conclusión de esta tesis está relacionada con el carácter ontológico de los modelos. La pregunta central ¿Qué son los modelos? puede llevar a preguntas como: ¿Son idealizaciones? ¿Son entidades instanciadas en mundos posibles? ¿Son objetos abstractos? ¿Estructuras matemáticas? Desde luego, depende de la clase de modelos de la que se está hablando. Si se habla de modelos materiales o diagramáticos, parece no haber respuestas satisfactorias. Encontrar una teoría ontológica que sirva para todos los

modelos parece ser algo difícil como plantear una teoría general de la representación que permita la explicación del poder inferencial de los modelos o las representaciones.

Los filósofos de la ciencia han caracterizado a los modelos de diferentes maneras. En un extremo del espectro están aquellos que piensan que los modelos son ecuaciones y el conjunto de curvas que las caracterizan, como Forster (2004). En el otro extremo están aquellos que piensan que pueden ser cualquier entidad. Desde el punto de vista de esta tesis, cualquier definición razonable de modelo debe estar entre los extremos anteriores, pero no ser tan abierto como para incluir cualquier cosa. Además, cualquier definición sobre los modelos que los filósofos de la ciencia realicen debe ser limitada por lo que los científicos adoptan como modelos.

Giere (1988) define que los modelos son los sistemas idealizados planteados en los libros de texto científico. Estos sistemas pueden satisfacer conjuntos específicos de ecuaciones, como un oscilador armónico simple, o no cumplir un conjunto específico de ecuaciones como los modelos de difusión del fondo marino.

Esta tesis doctoral defiende que los modelos se constituyen en las entidades bajo las cuales se hace una representación. Tomando distancia frente a posiciones donde se considera a las teorías como la clase de modelos donde se realiza la axiomatización— y a partir de estos son posibles realizaciones, aplicaciones, analogías o alcanzar ciertos grados de similaridad—, se asume un modelo o representans como una “máquina inferencial” a la cual se le asocia una interpretación intencional y que representa un sistema real — o representandum—.

Con el fin de ser una fuente de conocimientos sobre el representandum, un modelo debe ser representativo. Este último puede decirnos sobre la naturaleza de la realidad solo si suponemos que algunos aspectos del modelo tienen contrapartes en el mundo. Por lo tanto, si queremos aprender sobre el mundo a través un modelo, existe un compromiso con la afirmación de que el modelo implica algún tipo de representación. Según Donato y Zamora (2009), todo nuestro conocimiento está mediado por redes inferenciales y los modelos son vistos como “prótesis inferenciales”. Hay prótesis que parecen más naturales que otras, es decir, proporcionan la sensación de estar más cerca de la realidad. De esta manera, en un sentido práctico cuanto más sea posible reemplazar el sistema real por el modelo, más “real” parecerá el segundo.

La relación entre representans y representandum puede ser modelizada de diferentes maneras, dando lugar a una gran posibilidad de combinatorias como lo expresan Ibarra y Mormann (2000). Hablar de un *continuum* de modelos —o representaciones—, implica varias posibilidades:

- 1) Un mismo *representandum* puede tener diferentes modelos para propósitos variados y estos pueden estar conectados de diversas formas;
- 2) Un modelo puede ser el *representandum* de otros modelos;
- 3) El modelo puede estar apoyado en diferentes e incompatibles principios teóricos.

El asumir los modelos como "agentes autónomos" (Morgan y Morrison 1999), es decir, relativamente independientes de la teoría en lugar de ser constitutivos de ésta, permite abordar dos aspectos: su construcción y su funcionamiento, lo que nos lleva a un tercer elemento concluyente en esta tesis.

Una mirada a cómo los modelos se construyen en la ciencia actual pone de manifiesto que no son ni totalmente derivados de los datos ni de la teoría. Las teorías no proporcionan algoritmos para la construcción de un modelo, no son "máquinas expendedoras" en la que se puede insertar un problema y salir los modelos (Cartwright 1999).

En las ciencias experimentales, algunos modelos se construyen a partir de la organización de la fenomenología, los procesos de formalización y la actividad experimental. Este es el caso de la construcción del modelo de superconductividad. Puesto que se trata de un fenómeno esencialmente cuántico, la investigación fue en un comienzo fenomenológica, como por ejemplo el descubrimiento del efecto Meissner en 1933. Puesto que la comprensión y las herramientas matemáticas que disponían los físicos de la época no fueron suficientes para afrontar el problema, solo hasta los años cincuenta se dio su primera explicación mediante el desarrollo de la ecuación de London por parte de los hermanos Fritz y Heinz London. Este modelo goza de una gran independencia de la teoría, pues ha sido construido "de abajo hacia arriba" y no "de arriba hacia abajo".

La construcción de modelos es un arte y no es un procedimiento mecánico. Los modelos son sistemas construidos con el fin de sistematizar, organizar y facilitar el conocimiento e intervenir en la realidad deformándola conscientemente, es así que tienen un carácter interventivo y son construcciones muy particulares.

El carácter interventivo está dado en términos de la negociación e interpretación de las condiciones bajo la cuales un agente toma decisiones para la construcción de modelos y supone una relación normativa, que según Brandom (2004), se circunscriben al interior de los vocabularios y al conjunto de prácticas sociales dentro de los cuales tiene lugar los intercambios lingüísticos, “la realidad no tiene normas propias más allá de la que los agentes generan”. Solo en el marco de las conversaciones y prácticas sociales pueden verse legitimadas, justificadas o constreñidas normativamente las afirmaciones que una comunidad está dispuesta a defender por su mayor o menor utilidad para alcanzar unos propósitos determinados.

De esta manera, a través de ciertas reglas inferenciales, entre las propiedades de A y B puede extraerse información nueva que, eventualmente, se utilizarían como base de nuevas representaciones. Estas operan bajo la aplicación de reglas heurísticas pueden ser contrastadas generando una nueva instancia representacional. Así, es posible aplicar nuevas heurísticas a esta nueva instancia.

Adaptarse a este rol inferencial —abductivo, deductivo, inductivo, contrafáctico— es sin duda crucial para el agente con el fin de establecer las relaciones entre la teoría y los datos. La habilidad para extraer inferencias es posible porque existe un mapeo, es decir, un contexto previo de interacción entre los agentes y el mundo que permite darle relieve a la centralidad de sus compromisos. En este punto, es posible hacer una adaptación al contexto inferencial de la propuesta de Bueno & Colyvan (2008), quienes proponen tres pasos bajo los cuales es posible hacer explícitas las inferencias por parte de los agentes. En el primer paso, el agente establece una relación entre el objeto y la realidad. Llama a esta etapa de inmersión. El punto de inmersión es relacionar los aspectos relevantes de la situación empírica con el contexto adecuado. La situación empírica se toma de forma muy amplia, e incluye toda la gama de contextos en que las inferencias se aplican. El segundo paso consiste en la elaboración de las consecuencias de las relaciones obtenidas en la etapa de inmersión. Llama a este paso derivación. Éste es, por supuesto, el punto clave del proceso de inferencia, donde las consecuencias se generan. Finalmente, se

pueden interpretar las consecuencias que se obtuvieron en el paso de derivación. Denomina a este paso interpretación. Es decir, la asignación de todas las inferencias que se pueden extraer. Esta no tiene por qué ser simplemente la inversa de la cartografía utilizada en el paso de inmersión, aunque en algunos casos, pueda darse.

Un ejemplo de construcción de modelos teniendo en cuenta su carácter interventivo lo constituye la predicción del curso de un huracán. Esto solo fue posible cuando Benjamín Franklin, quien vivía en Filadelfia en 1760, se dio cuenta a través de un intercambio de cartas con un amigo que vivía en Boston, que el paso de una tormenta destructiva había provocado destrucción a cada ciudad desde el noroeste, a pesar de que la tormenta se había movido en dirección opuesta, desde el suroeste hacia el noroeste. Franklin estableció el principio del modelo que a partir de la Segunda Guerra Mundial ha hecho que sea posible, por lo menos, evitar catástrofes como las del huracán de principios de septiembre de 1936 que mató más de 200 personas desde las Carolinas hasta Islandia y Terranova. De esta manera, la sistematización de las inferencias que son aceptadas en relación al uso del modelo propuesto por Franklin permite la aprobación de este por parte de la comunidad científica.

Otros elementos esenciales que se han considerado en la construcción de los modelos en el desarrollo de esta tesis ha sido la noción de aceptabilidad, entendida desde el uso y la evaluación de estas herramientas cognitivas a través de la definición de una serie de virtudes que permiten dar cuenta de la producción o el impedimento de un cambio intencional.

Esto permite tener como referencia la aceptación y éxito de los modelos con relación a la intencionalidad de los agentes, sus condiciones particulares de producción representacional y factores sociales y culturales, que permiten la formulación de criterios para juzgar la adecuación de estos. No existe una única manera de combinación de las virtudes que los modelos deben tener, puesto que cada científico o comunidad científica tiene sus propias preferencias, que le dan identidad y se concretan en las normas inferenciales que cada grupo tiene, y posibilitan la construcción de patrones de inferencias considerados adecuados.

Donato y Zamora (2009) han considerado que el éxito empírico de los modelos debe estar en consonancia con virtudes como la adecuación, la versatilidad, la ergonomía y la compatibilidad, que posibilitan entre otros, la extracción de inferencias, la conexión con

otros modelos y la corresponsabilidad de las consecuencias obtenidas con las que se dan en el sistema real. Dentro de las propiedades que se constituyen en virtudes de los modelos están

- Adecuación: las consecuencias obtenidas con su ayuda deben corresponder a las consecuencias que se siguen del sistema real;
- Versatilidad: el modelo nos permite extraer inferencias de distintos tipos de afirmaciones del representandum;
- Ergonómica: el modelo debe ser fácil de manejar, al menos debe ser más fácil extraer inferencias de él que directamente del sistema real que se quiere representar o modelizar —o de los principios teóricos únicamente—. Ésta es la propiedad que podemos llamar función “instrumental” de los modelos;
- Compatibilidad: el modelo debe ser fácil de conectar con otros modelos.

Ampliar el rango de virtudes de los modelos científicos es un propósito fundamental de esta tesis. Según Brandom (2000), la realidad no tiene normas propias que ofrecer más allá de lo que la comunidad científica genera, así, cada una de ellas, tiene sus propias preferencias —que se constituyen en su sello de identificación—; estas se materializan en las normas inferenciales que cada grupo tiene, lo que permitirá el establecimiento de patrones de inferencias que se consideran adecuados. Así, el "grado de realismo" de un modelo debe ser tomado como la percepción que nos da de "estar más cerca de la verdad". En muchos contextos, como en el caso de las simulaciones, los asuntos —representandum— son reemplazados por el soporte —representans—.

Utilizando argumentos de la "Pragmática normativa", se parte de que las acciones humanas —no solo las verbales— se entienden como estructuradas y motivadas por los estados deónticos de los agentes pues son ellos los que están comprometidos a hacer (Donato y Zamora, 2009).

Como una tercer conclusión, se plantea que el análisis de los modelos científicos y las representaciones está orientado por los compromisos pragmáticos, de tal modo que las intenciones del agente están en concordancia con estos compromisos y con el sistema de normas inferenciales de tal manera que le permita una mayor eficiencia en las acciones.

De acuerdo con Brandom (2000), las relaciones normativas se circunscriben al interior del conjunto de prácticas dentro del cual tienen lugar los intercambios lingüísticos y sociales. Solo en el marco de las prácticas sociales puede verse legitimada, justificada o constreñida normativamente las afirmaciones basado en otras afirmaciones que la comunidad está dispuesta defender por su mayor o menor utilidad para alcanzar determinados propósitos.

Esto permite una evolución en el conocimiento, puesto que conlleva a una cadena de acciones con otros agentes que posibilitan nuevos acontecimientos y percepciones, de tal manera, que se establece una dinámica entre inferencias y normas, permitiendo una mayor valoración de unas frente a las otras, proceso que da paso a que las normas de éxito "sobrevivan y se reproduzcan", y transferirse más fácilmente a otros agentes y situaciones frente a las de menor éxito, como lo expresa Zamora (2005):

Podemos concebir el juego de la investigación científica como un compromiso mutuo entre los 'Verificadores' (quienes intentan defender una teoría) y los 'Refutadores' (quienes intentan criticarla), compromiso merced al cual los primeros aceptan utilizar solo unos *tipos* de leyes especiales [...]", de esta manera "[...] ni el Verificador puede hacer por sí solo que la teoría sea verificable, ni el refutador puede hacer de la misma manera que sea falseable. Esto es, cada jugador puede fácilmente bloquear la posibilidad de que el juego sea ganado por *su contrincante* y, de esta forma, cada uno de ellos necesita que *el otro* ponga un límite a las estrategias que pueda utilizar.

Las estrategias inferenciales de tipo pragmático posibilitan, según Brandom (2002), distinguir "entre inferencias buenas y malas, entendidas como una distinción entre acciones apropiadas e inapropiadas" y luego a comprender lo que se dice sobre la verdad como "algo que se preserva mediante los movimientos adecuados. Esta consideración permite la elección de las acciones a partir del uso. Hacer uso de un modelo significa tener un conjunto de inferencias que dan cuenta de las virtudes que este tiene".

Discutir la legitimidad de priorizar los mecanismos fiables en la formación de creencias implica que el sujeto al que se le atribuye conocimiento se encuentra inserto en un mecanismo confiable, que se apoya en el hecho de que las virtudes que se atribuyan a

los modelos permiten apelar a la atribución de justificación inferencial para posibilitar entre otros, la extracción de inferencias, la conexión con otros modelos y la corresponsabilidad de las consecuencias obtenidas con las que se dan en el sistema real; constituyéndose en un procedimiento fiable de formación de creencias. La capacidad de un modelo para dar cuenta de las distintas actuaciones en diferentes situaciones le da oportunidades para la acción.

Como un cuarto aspecto concluyente de esta tesis, considerar los modelos como instrumentos para la acción permite utilizarlos para indagar posibles respuestas en el entorno en el que se aplican, asumidas como la producción o el impedimento de un cambio intencional en el mundo. Esto da paso a que, una vez que se obtiene una información adicional, se altera de manera conveniente la representación del modelo, lo que posibilita una nueva acción. Este carácter de bucle le da a la representación una proyección compleja, pues no solo se ve como modelo de algo, sino también que representa algo de manera adecuada. Tal como lo expresa Brandom (2000), “aseverar que una afirmación  $p$  emitida por algún sujeto  $X$  es verdadera, no es más que respaldar uno mismo esta afirmación y sostener su correspondencia con los hechos tal como uno considera que son y no como serían desde la perspectiva del Ojo de Dios”. Todas y cada una de las representaciones tiene un carácter perspectivo pues estarán “[...] determinadas por un conjunto históricamente contingente de necesidades e intereses humanos”. Estas consideraciones permiten identificar un modelo con una serie de compromisos de modificación de creencias interconectadas y normas inferenciales, algunas de éstas explícitas de manera formal o práctica.

Con relación a su funcionamiento, los modelos desempeñan varias funciones heurísticas. Partiendo de la premisa que el uso refleja el significado, la práctica debe ser la clave. La simplicidad del modelo permite en el caso de las teorías físicas compartir características que el modelo mantiene con otros más complejos, este es el caso de la teoría cuántica de campos o QFT. Desde esta teoría se ofrece un marco conceptual general que permite aplicar los principios de la mecánica cuántica a los sistemas clásicos de campos continuos como el electromagnetismo. También posibilita describir la evolución y las interacciones de un sistema compuesto de partículas cuánticas cuyo número no es constante, es decir, pueden crearse o destruirse. Cuando se combina con los postulados de la relatividad especial, tiene aplicación a la física de altas energías que permite entre otras aplicaciones acomodar todas las especies de partículas subatómicas

y sus interacciones, así como de realizar predicciones muy genéricas, como la relación entre espín y estadística, la simetría CPT, la existencia de antimateria. En el contexto de la física de la materia condensada, se utiliza para explicar fenómenos como la superconductividad.

La heurística de los modelos puede estar en función de construir modelos más concretizados. De esta manera, el éxito no está centrado en una correspondencia con la realidad, sino más bien en el éxito empírico instrumental, es decir, la funcionalidad, por ejemplo, como en el caso de los modelos artificiales y las simulaciones.

Cuando se usa el término de simulaciones, se asocia con la generación de modelos vía modelos matemáticos, que procuran encontrar soluciones analíticas a los problemas y permite la predicción del comportamiento de un sistema partiendo de parámetros y de condiciones iniciales. Sin embargo, el uso de los ordenadores puede combinar simulaciones de la realidad con acontecimientos reales, tales como generación de respuestas de entrada, para simular condiciones que no están presentes. El término simulación por ordenador es más amplio que el modelar por ordenador, pues implica que todos los aspectos se están modelando en la representación del ordenador. Sin embargo, la simulación de ordenador también incluye la generación de entradas de usuarios simulados para funcionar software o el equipo real, con solamente la parte del sistema que es modelado: un ejemplo sería simuladores de vuelo el cuál con un software real de vuelo puede hacer permitir que los usuarios asimilen las condiciones reales del avión.

Las simulaciones por ordenador proporcionan una herramienta sencilla y potente para explorar las implicaciones de los supuestos teóricos. Son más baratos que los experimentos y, a menudo, son más fáciles de construir y de manejar que los modelos matemáticos. Al mismo tiempo, limitar el ámbito de lo que puede ser modelado solo a lo que puede ser descrito mediante algoritmos les da un alcance muy amplio. Con esta herramienta a la mano, debería ser posible poner al alcance respuestas a preguntas que tradicionalmente parecen desafiar el uso de métodos formales.

Sin embargo, tras una inspección cercana, se hace evidente que las simulaciones por ordenador se constituyen en un campo, donde se hace necesario abordar i) el lugar epistémico que deben ocupar las simulaciones, lo que posibilita la discusión si las

simulaciones son una forma de teorización, experimentación ó un lugar intermedio., y  
ii) su papel en las prácticas científicas.

En algunos otros casos, la funcionalidad está dada en términos de los casos límite de un modelo más general. Los modelos de la relatividad especial para velocidades de menor orden de magnitud que la velocidad de la luz y en campos gravitatorios débiles permiten la obtención de las ecuaciones de la Mecánica Clásica. Así, la relatividad especial reduce en el límite de la mecánica clásica cuando  $(v / c) \rightarrow 0$ . Esto se puede obtener al hacer la velocidad del movimiento  $v \rightarrow 0$ , es decir, una aproximación realista para velocidades menores que la velocidad de la luz,  $c$  o dejando  $c \rightarrow \infty$ , es decir, un límite de rendimiento hipotético de la concepción newtoniana de acción instantánea a distancia. Igualmente, a partir de la Mecánica Cuántica, las leyes clásicas de la Mecánica se recuperan cuando la constante de Planck se hace lo suficientemente pequeña. Estas consideraciones podría permitir asegurar que los modelos explicativos de la teoría de Einstein son de mayor alcance que la de Newton, de manera que todo éxito anterior de la teoría superada se convierte en un nuevo éxito de la teoría más comprensiva.

Sin embargo, Winsatt (2006) llama la atención sobre la agregación y reducción en diversos contextos, pues aunque aparece teóricamente deseable, un uso exagerado de la aproximación, las condiciones de derivación y la extrapolación de algunas puede producir respuestas diferentes. Aunque se parte del modelo general y se transforma en modelos diferentes haciendo supuestos matemáticas, no significa que sean equivalentes trayendo como consecuencia que se puedan generar “falsos modelos”. La identificación de las similitudes y las diferencias entre los modelos en las transformaciones utilizadas sirven por un lado, para legitimar el uso del modelo más antiguo, como en el caso  $v \rightarrow 0$ ; o agregar más pruebas de utilidad al modelo más reciente, pues posibilita establecer conexiones conceptuales entre ellos, como en el caso cuando  $c \rightarrow \infty$ . Esto nos permite agregar que no basta el éxito empírico, sino es necesaria toda una serie de reflexiones sobre el campo donde se va aplicar los modelos, pues no son solo herramientas falibles para manejar predictivamente la naturaleza.

Ahora bien, a partir de los planteamientos anteriores no es posible extraer conclusiones definitivas sobre la construcción y funcionamiento de los modelos. Los modelos son asumidos como mediadores y, de esta manera, es posible acercarse a la realidad en la

medida que se constituyen en el fundamento de la representación científica, a partir de la concepción de una comunidad cuyas prácticas de fijación de creencias se encuentren asociadas al pedir y dar razones.

Una comunidad que es capaz de dar razones de sus creencias, según Brandom (2006), puede aplicar el concepto de fiabilidad y por ello del conocimiento de la realidad. Con referencia a la construcción de modelos, permite que actúen como dispositivos fiables. Esto es así porque pueden servir para discriminar entre un mediador que es fiable y uno que no lo es, debido a que la noción misma de correlación entre estados de un mediador y los estados que pretende representar es posible porque al hacerlo, se respalda inferencialmente una conclusión. Se puede dar sentido a la construcción y uso de los modelos no solo cuando hay justificación para ellos sino también cuando se acude a procesos fiables de formación de creencias.

Los argumentos de Walton (2010) agregan que la aceptación de un nuevo compromiso por un comunidad científica depende no solo de su aproximación de la verdad, sino también en la capacidad para hacer más coherente y viable la red de compromisos y enlaces inferenciales de la disciplina. Un dominio de motivos puede integrarse a los giros y vueltas de los compromisos, pero la necesidad de nivelar el dominio y la toma de decisiones, al igual que los estados-nación que permanecen unidos por la fluidez de los bienes, servicios, personas e ideas a través de sus fronteras y no por la destrucción de las diferencias locales y regionales. Lo que queda como primacía es simplemente la idea de que partimos de lo que conocemos y salimos de allí, guiados por nuestros compromisos. Y cuando nos encontramos con otros guiados por otros compromisos, tratamos de reconciliar nuestras diferencias.

En la ciencia contemporánea los modelos pueden ser representaciones, tales como nuestros cinco sentidos pueden percibir o nuestra imaginación puede dar forma en nuestras mentes, de las entidades reales que son demasiado pequeños o demasiado grandes o demasiado complejo para la observación directa. En estos casos no son referentes para un análisis crítico de las leyes que rigen las situaciones concretas y procesos, sino que son como los representantes de los objetos de estudio ante el tribunal de la razón humana.

La respuesta a las preguntas iniciales quedan abiertas para la discusión, con el fin de que se den los debates suficientes para que todas las posturas que se ofrecen puedan ser

revisadas, lo que eventualmente podría terminar en un éxito posterior de alguna de ellas. Entonces, ¿cómo establecer las condiciones adecuadas para la continuidad de este debate? Este será la principal tarea para configurar un sistema de condiciones que permita a los modelos científicos encontrar un pliego de condiciones en su fundamental e interdisciplinaria naturaleza. El debate apenas comienza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achinstein, P. (1968). *Concepts of Science: A Philosophical Analysis*. Baltimore: Johns Hopkins Press.

Ahumada, J et al. (2008). Simulación, experimentación y visualización en ciencia-arte. Disponible en

[www.J.fisica.cab.cnea.gov.ar/colisiones/staff/barra/.../2008montevideo1.pdf](http://www.J.fisica.cab.cnea.gov.ar/colisiones/staff/barra/.../2008montevideo1.pdf)

Akerlof's, G. (1970). The Market for 'Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *Quarterly Journal of Economics* 84: 488-500.

Amann, K & Knorr Cetina, K. (1990). The Fixation of (Visual) Evidence. In M. Lynch & S. Woolgar (eds.), *Representation in Scientific Practice* (pp. 85-122). Boston: MIT Press

Arana, J. (2000). Causalidad y objetividad. Schrödinger y el trasfondo filosófico de la mecánica cuántica. En Mataix. C & Rivadulla. A (eds), *Física cuántica y realidad* (pp. 73-96) . Madrid: Universidad Complutense

Arnold, E. (2006). The Dark Side of the Force: When computer simulations lead us astray and “model think” narrows our imagination — Pre conference draft for the Models and Simulation Conference, Paris.

\_\_\_\_\_(2010). *Tools or Toys? On Specific Challenges for Modeling and the Epistemology of Models and Computer Simulations in the Social Sciences*. Stuttgart: Institute of Philosophy, University of Stuttgart. Disponible en [www.eckhartarnold.de/papers/2010\\_MS4/tools\\_or\\_toys.pdf](http://www.eckhartarnold.de/papers/2010_MS4/tools_or_toys.pdf)

Atkinson, D. (2003). Experiments and thought experiments in natural science. In M. C. Galavotti (Ed.), *Observation and experiment in the natural and social sciences* (pp. 209–225). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Baier-Jones, D (1999). Tracing the Development of Models in the Philosophy of Science. In Magnani, Nersessian and Thagard (23-40)

\_\_\_\_\_(2003). When Scientific Models Represent. *International Studies in the Philosophy of Science* 17, 59-74.

Batterman, R. (2004). Intertheory Relations in Physics. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.).

\_\_\_\_\_(2009 ). Idealization and modeling. *Synthese* 169, 427-446, DOI: 10.1007/s11229-008-9436-1

Bhaskar, R (1997). A Realist Theory of Science. London: Verso. ISBN 1-85984-1031

Biswas, T. (1999). *Quantum mechanics, Concepts and applications*. New York: Physics Department State University.

Black, M. (1962). *Models and Metaphors*. Ithaca: Cornell University Press.

Bogen, J. & Woodward, J. (1988). Saving the Phenomena. *Philosophical Review*, 97, 303-352.

Bombal, F. (2002). *Los Modelos Matemáticos de la Mecánica Cuántica*. Disponible en [www.ochoa.mat.ucm.es](http://www.ochoa.mat.ucm.es) .3

Boumans, M. (1999). Built-In Justification. In M. Morgan & M. Morrison (eds.), *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 6-96). Cambridge: Cambridge University Press.

Brandom, R. (1994). *Making it explicit*. Cambridge: Harvard University Press.

\_\_\_\_\_(2000). *Articulating Reasons*. Cambridge: Harvard University Press.

\_\_\_\_\_(2002a). *Tales of the mighty dead*. Cambridge: Harvard University Press.

\_\_\_\_\_(2002b). *La articulación de las razones*. Un mirada al inferencialismo. De la traducción Eduardo de Bustos y Eulalia Pérez Sedeño. Madrid: Siglo XXI editores.

\_\_\_\_\_ (2006). [Kantian Lessons About Mind, Meaning, and Rationality](#). *Philosophical Topics* 34, 1-20

\_\_\_\_\_ (2008). *Between Saying and Doing: Towards an Analytic Pragmatism*. Oxford: Oxford University Press.

Broncano, F. (2003). *Saber en condiciones*. Madrid: Antonio Machado libros.

[Brown](#), J. (2010). [The Philosophy of Mathematical Practice](#). *International Journal of Philosophical Studies* 18, 111 – 115.

Bueno, O. & Colyvan, M (2008). An inferential conception of the application of mathematics. (forthcoming).

Bueno, O. (1997), Empirical Adequacy: A Partial Structures Approach. *Studies. History and Philosophy of Science*, 28, 585-610.

Calvo, D. (2006). *Modelos teóricos y representación del conocimiento*. (Tesis Doctoral-Universidad Complutense de Madrid), [En línea]. Disponible en [www.ucm.es/BUCM/tesis/fsl/ucm-t%2029144.pdf](http://www.ucm.es/BUCM/tesis/fsl/ucm-t%2029144.pdf)

Carnap, R. (1947). On the Application of Inductive Logic. *Philosophy and Phenomenological Research* 8(1), 133-148.

Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press.

\_\_\_\_\_ (1989). *Nature's Capacities and their Measurement*. Oxford: Oxford University Press.

\_\_\_\_\_ (1995), Ceteris Paribus Laws and Socio-Economic Machines. *The Monist* 78, 276-294.

\_\_\_\_\_ (1999). *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

\_\_\_\_\_ (2004). Causation: One World, Many Things. *Philosophy of science* 71: 805-819.

Chakravartty, A (2010a), *Metaphysics Between the Sciences and Philosophies of Science*. In P. D. Magnus & Jacob Busch (eds.), *New Waves in Philosophy of Science*. Toronto: Palgrave Macmillan

\_\_\_\_\_(2010b). Informational versus functional theories of scientific representation. *Synthese* 172, 197–213 DOI 10.1007/s11229-009-9502-3

Collins, H. & Evans, R. (2002), *The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience*. *Social Studies of Science* 32, 235-296.

\_\_\_\_\_(1996). *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Madrid: Ed. Drakontos.

Contessa, G. (2007). Scientific Representation, Interpretation, and Surrogate Reasoning. *Philosophy of Science* 74 (1):48-68.

Copérnico, N. [1530], (1992). *De Revolutionibus*. Johns Hopkins: University Press.

Da Vinci, L. (1827). *Tratado de pintura*. De la traducción de León Bautista Alberti. Madrid: Imprenta Real.

De Bustos, E. (2003). *Pragmática, contenido conceptual e inferencia*. Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la ciencia. Madrid: UNED

\_\_\_\_\_(2004). *Filosofía del Lenguaje*, Madrid: Servicio de publicaciones de la UNED

De Donato, X. (2007). El carácter de los tipos ideales weberianos y su relación con las ciencias naturales. *Diánoia*, 52 (59), 151-177.

De Donato, X. & Zamora Bonilla, J. (2009). Credibility, Idealisation, and Model Building: An Inferential Approach. *Erkenntnis* 70, 101–118, this issue. Doi; 10.1007/s10670-008-9139-5

\_\_\_\_\_(2010). Apuntes para un modelo inferencialista de búsqueda del conocimiento. VII Encuentro Iberoamericano de Metateoría Estructuralista. Facultad de Filosofía Universidad de Santiago de Compostela.

De Gennes, Pierre-Gilles (1991). Disponible en [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1991/gennes-lecture.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1991/gennes-lecture.html).

De Lorenzo, J (2005). Filosofías de la Matemática: de fundamentaciones y Construcciones. *Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, Madrid: Editorial Trotta.

Descartes, [1637], (1981). *Discurso del método, dióptrica, meteoros y geometría*. Madrid: ediciones Alfaguara.

Diegüez, A (1998). *Realismo científico*. Málaga:Universidad de Málaga.

Diez, J (1997). La concepción semántica de las teorías. *Éndoxa: Series Filosóficas, n' 8*, Madrid: UNED

Elgin, C. (2004). Denying a Dualism: Goodman's Repudiation of the Analytic/Synthetic Distinction. *Midwest Studies in Philosophy* 28, 226–238.

Euler, L. (1736). *Mecánica de Euler*. Opera Omnia: Academia Suiza de Ciencias.

Flores, L (2009). *Teoría, Modelo y Verdad*. Instituto de Filosofía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en [www.cursos.puc.cl/agp31301/almacen/1306362839\\_lfloresh\\_sec1\\_pos0.doc](http://www.cursos.puc.cl/agp31301/almacen/1306362839_lfloresh_sec1_pos0.doc)

Forster, M (1999). *The Evolution of Inference*. Disponible en <http://philosophy.wisc.edu/forster/papers/Inference.htm>

\_\_\_\_\_(2004). Chapter 2: Theories, Models, and Curves. Disponible en <http://philosophy.wisc.edu/forster/520/Chapter%202.pdf>

Forster & Sober (1994). “How to Tell when Simple, More Unified, or Less Ad Hoc Theories will Provide More Accurate Predictions”, *British Journal for the Philosophy of*

French, S (2010). Keeping Quiet on the Ontology of Models. *Synthese* 172 (2).

French,S y Ladyman, J (2003). The Dissolution of Objects: Between Platonism and Phenomenalism. *Synthese* 136 (1)

---

Frigg, R & Hartmann, S (2006). Models in Science. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.). Online at <http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>

Frigg R, Hartmann, S. & Imbert, C (2009). Models and Simulations. *Synthese* 169 (3).

Frigg, R. y Reiss, J. (2009). "The philosophy of simulation: hot new issues or same old stew?" *Synthese* 169:593–613.

Galison, P. (1987), *How experiments end*, Chicago: University of Chicago Press.

\_\_\_\_\_(1988), Philosophy in the Laboratory. *Journal of Philosophy* 85, 525-527.

Gendler, T (1998). Contingence on the Cheap. *Mind* 107 (428):821.

\_\_\_\_\_(2000). *Thought Experiment: On the Powers and Limits of Imaginary Cases*. New York and London: Garland.

Gibbard & Varian (1978). Economic Models. *Journal of Philosophy* 75, 664-677.

Giere, R. (1988). *Explaining science: a cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.

\_\_\_\_\_(1992). *La explicación de la ciencia*. Un acercamiento cognoscitivo México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

\_\_\_\_\_(1999). *Science Without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.

\_\_\_\_\_(2004), How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71: 742-752

Goldberg, L. (1965): *An inquiry into the nature of accounting*, Arno Press, Wisconsin, 1980 (reprint of the original edition).

Goodman, N. (1976). *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. Indianapolis: Hackett Publishing Company

Hacking, I, (1992), *Representar e Intervenir*, México : Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

---

\_\_\_\_\_(2001). *An Introduction to Probability and Inductive Logic*. Cambridge University Press.

Hall, R.L. (1982): The Role of Commitment in Scientific Inquiry: Polanyi or Popper?, *Human Studies*, vol. 5, no. 1, 45-60.

Hameka, Hendrik F. (2004), *Quantum Mechanics: A Conceptual Approach*, John Wiley & Sons, Inc.

Hanson, N. (1958). The Logic of Discovery, *Journal of Philosophy* 55, 1073-1089

\_\_\_\_\_(1977). *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*. Madrid: Alianza Universidad.

Harris, T (2003). Data Models and the Acquisition and Manipulation of Data. *Philosophy of Science* 70, 1508-1517.

\_\_\_\_\_(1974). *The Structure of Scientific Inference*, London: Macmillan.

Hartmann, S (1995). Models as a Tool for Theory Construction: Some Strategies of Preliminary Physics, in Herfel et al. 1995, 49-67.

---

\_\_\_\_\_(1996), The World as a Process. Simulations in the Natural and Social Sciences, in Hegselmann et al. 1996, 77-100.

\_\_\_\_\_(1998). Idealization in Quantum Field Theory., in Shanks, 99-122.

\_\_\_\_\_(1999). Models and Stories in Hadron Physics, in Morgan and Morrison, 326-346.

\_\_\_\_\_(2001). Effective Field Theories, Reduction and Scientific Explanation. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 32, 267-304.

Haxton y Woosley (1988). *Nucl. Physics*, 522, 325c

Hesse, M. (1963). *Models and analogies in science*. London: Publisher.

\_\_\_\_\_(1964). Analogy and Confirmation Theory, *Philosophy of Science* 31, 319-327.

Hintikka, J. (1986). Logic of Conversation as a Logic of Dialogue. In R. Grandy and Warner (eds.), *Intentions, Categories and Ends*, Clarendon Press, Oxford, 259-272.

Hughes, R. (1997). Models and representation. *Philosophy of Science*, 64, 325–336.

- Humphreys, P ( 2002). Computational Models. *Philosophy of Science*, 69, S1-S11
- \_\_\_\_\_(2004). *Extending Ourselves. Computational Science, Empiricism and Scientific Method*. Oxford University Press.
- \_\_\_\_\_(2009). The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods. *Synthese*, 169, 615–626
- Ibarra, A & Mormann, Th. (1997), *Representaciones en la ciencia*. Madrid: Ediciones Bronce
- \_\_\_\_\_(1998). Datos, fenómenos y constructos teóricos—Un enfoque representacional. *Theoria*, 31, 61–87.
- \_\_\_\_\_(2000a). *Variedades de la representación en la ciencia y la filosofía*, Barcelona: Ariel
- \_\_\_\_\_(2000b). Una teoría combinatoria de las representaciones científicas. *Critica*, vol. XXXII, 95, 3–46.
- \_\_\_\_\_(2006a). Scientific theories as intervening representations. *Theoria*, 55, 21–38.
- \_\_\_\_\_(2006b). Scientific theories as intervening representations. *Theoria*, 55, 21–38
- Iranzo, (2000). Manipulabilidad y entidades inobservables, *Teoría-Segunda época*, 15/1: 131-153
- Judson, F (1984). *La búsqueda de respuestas*. México: Fondo educativo Interamericano.
- Keil, F. (2006). Explanation and Understanding. *Annual Review of Psychology* 57, 227-254.
- Kibble, R. (2006). Reasoning about propositional commitments in dialogue. *Springer*, Amsterdam, Netherlands.

King Dávalos, P. (2005). Normas epistémicas implícitas en prácticas: una extensión de la propuesta de R. Brandom. *Theoria* 52, 87-106.

Knuuttila (2005). *Representation and Realism in Economics: From the Assumptions Issue to the Epistemology of Modelling*. Helsinki: University of Helsinki

\_\_\_\_\_ (2005), Models, Representation, and Mediation. *Philosophy of science* 72: 1261-71

Knuuttila & Voutilainen (2003). A parser an epistemic artifact: A material view on models. *Philosophy of Science* 70, 1484-95.

Lamo de Espinosa y otros (1994). *La sociología del conocimiento y la ciencia*. Madrid:Editorial Alianza.

Laymon, R. (1985). Idealizations and the Testing of Theories by Experimentation. In P. Achinstein and O. Hannaway (eds.), *Observation Experiment and Hypothesis in Modern Physical Science* (pp. 147-173). Cambridge, Mass.: M.I.T. Press,.

\_\_\_\_\_ (1991). Thought Experiments by Stevin, Mach and Gouy: Thought Experiments as Ideal Limits and Semantic Domains. In *Horowitz and Massey* (167-91).

Latour, B. & Woolgar, S. (1986). *La vida en el laboratorio: Construcción de los hechos científicos*. Princeton: Princeton University Press.

León, O (1995). *Racionalidad Epistémica*. Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía de la ciencia, Madrid: Editorial Trotta

Lewontin, R (2004). The Confusions of Fitness. *British Journal for the Philosophy of Science* 55, 347-363.

\_\_\_\_\_ (2008) et al. The Generational Cycle of State Spaces and Adequate Genetical Representation. *Philosophy of Science* 75 (2), 140-156.

Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*. Oxford: Blackwell.

*Los escritos de Dinámica de Leibniz* (2003). Revista de Filosofía, 20. Santiago: Universidad de Chile

Lynch (1985). Discipline and the Material Form of Image: An Analysis of Scientific Visibility. *Social Studies of Science* 15, 37-66

Martínez, S (2001). Historia y combinatoria de las representaciones científicas comentarios a la propuesta de Ibarra y Mormann. *Crítica*, 33 (99), 75–95

Mäki, U. (1994). Isolation, Idealization and Truth in Economics. In Bert Hamminga and Neil B. De Marchi (eds.), *Idealization VI: Idealization in Economics. Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, Vol. 38: 147-168. Amsterdam: Rodopi.

\_\_\_\_\_ (2004). Economic Epistemology: Hopes and Horrors. *Episteme* 1, 211-222.

Mayo, D. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press

McMullin, E (1968). What Do Physical Models Tell Us?, in B. van Rootselaar and J. F. Staal (eds.), *Logic, Methodology and Science III*. Amsterdam: North Holland, (pp. 385-396).

\_\_\_\_\_ (1985). Galilean Idealization. *Studies in the History and Philosophy of Science* 16, 247-73.

Meyer, H (1951). On the Heuristic Value of Scientific Models, *Philosophy of Science* 18, 111-123.

Minhot, L y Testa, A. Comp. (2003). *Representaciones en ciencia y en arte*. Córdoba: Editorial Brujas

Morgan & Morrison (edS) (1998). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.

\_\_\_\_\_ (2004). Imagination and Imaging in Model Building, *Philosophy of science*, 71, 753- 766

Morrison, M (1999). Models as Autonomous Agents. in Morgan and Morrison *Models as mediators* (pp. 38-65), Cambridge: Cambridge University Press

\_\_\_\_\_ (2002). Modelling Populations: Pearson and Fisher on Mendelism and Biometry. *British Journal for the Philosophy of Science* 53, 39-68

Musgrave, A. (1981). 'Unreal Assumptions' in Economic Theory: The F-Twist Untwisted. *Kyklos* 34, 377-387.

Nagel, E (1961). *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. Harcourt, Brace & World.

Norton, J (1991). Thought Experiments in Einstein's Work. In Horowitz and Massey (pp.129-148).

\_\_\_\_\_ (1996). Are Thought Experiments Just What You Thought?. *Canadian Journal of Philosophy* 26, 333-366.

Nozick, R (2001). *Invariances: The structure of the objective world*. Cambridge: Harvard University Press.

Odenbaugh, J (2005). Idealized, Inaccurate but Successful: A Pragmatic Approach to Evaluating Models in Theoretical Ecology. *Biology and Philosophy* 20, 2-3.

Palma, H. (2009). *Metáforas y modelos científicos: el lenguaje en la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Libros del Zorzal.

Parker, W. (2009). Confirmation and Adequacy-for-Purpose in Climate Modelling. *Aristotelian Society Supplementary*, 83, 233-249.

Peirce, C. (1931). *Collected Papers, Volume 2: Elements of Logic*. Edited by C. Hartshorne and P. Weiss. Cambridge: Harvard University Press.

Polanyi, M. (1958). *Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy*.

London: Routledge and Kegan Paul.

Portides, D (2005). Scientific Models and the Semantic View of Scientific Theories. *Philosophy of Science* 72, 1287-1298.

Post, D. & Votta, L. (2005). Computational Science demands a new paradigm. *Physics Today*. 58, 35-41.

Psillos, S. (2000). Agnostic Empiricism Versus Scientific Realism: Belief in Truth Matters. *International Studies in the Philosophy of Science* 14, 57 – 75.

Prigogine, I. (1997). *El fin de las certidumbres*. Madrid: Editorial Tuarus.

Redhead, M. (1980). Models in Physics. *British Journal for the Philosophy of Science* 31, 145-163.

Reiss, J. (2003). Causal Inference in the Abstract or Seven Myths about Thought Experiments. In *Causality: Metaphysics and Methods Research Project*. Technical Report 03/02. LSE.

\_\_\_\_\_(2006). Beyond Capacities. In L. Bovens & S. Hartmann (eds.), *Nancy Cartwright's Philosophy of Science*. London: Routledge.

Rivadulla, A. (2004). *Éxito, razón y cambio en física. Un enfoque instrumental en teoría de la ciencia*. Madrid: Editorial Trotta.

Rorty, R. (1980). *Philosophy and the Mirror of Nature*. Oxford: Basil Blackwell.

Roughgarden, J. (1996). *Theory of population genetics and evolutionary ecology: and introduction*. New York: Prentice Hall.

Rubinstein, A (2006). Dilemmas of an econometrics theorists. *Econometrica*, 74, 865-883.

Schelling, T. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. W. W. Norton & Co Inc.

Schindler, S. (2008). Model, Theory, and Evidence in the Discovery of the DNA Structure, *British Journal for the Philosophy of Science* 59, 619-658.

\_\_\_\_\_ (2008). Bogen and Woodward's data-phenomena distinction, forms of theory-ladenness, and the reliability of data. Disponible en [http://philsci-archive.pitt.edu/4481/1/SSchindler\\_Phenomena.pdf](http://philsci-archive.pitt.edu/4481/1/SSchindler_Phenomena.pdf)

Scott R. (2008). *Mysterium Cosmographicu in Euler's gem: the polyhedron formula and the birth of topology*. Princeton: Princeton University Press.

Schrödinger, E. (1975). *Qué es una ley de la naturaleza?*. Mexico: Fondo de cultura Económica.

Simpson, J (2006). Simulations are not Models. Disponible en <http://philsci-archive.pitt.edu/2767/>

Smith, J (1983). Participation in Social and Political Activities. *Ethics* 93, 411-412.

Sorensen, R. (1992). *Thought experiments*. Oxford: Oxford University Press.

Suárez D. (edS) (2007). *Variedad infinita: ciencia y representación, un enfoque histórico y filosófico*. México: Limusa

Suárez, M. (2003a). Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science* 17, 225-244.

\_\_\_\_\_ (2003b). Hacking Kuhn. *Revista de Filosofía* 28, 261-284

\_\_\_\_\_ (2004). An Inferential Conception of Scientific Representation. *Philosophy of Science* 71, 767-779.

\_\_\_\_\_ (2009). *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. Routledge.

\_\_\_\_\_ (2010). Scientific Representation. *Philosophy Compass* 5, 91-101.

Suárez & Cartwright (2007). Theories: Tools Versus Models. *Studies in History and Philosophy of Science Part B*.

Suppe, F. (1974). *The Structure of Scientific Theories*. Illinois: University of Illinois Press.

\_\_\_\_\_ (1989). *The semantic conception of theories and scientific realism*. Illinois: University of Illinois Press

Sugden, R. (2002). Credible worlds: The status of theoretical models in economics. In U. Mäki (Ed.), *Fact and fiction in economics. Models, realism and social construction*. Cambridge: Cambridge University Press.

\_\_\_\_\_ (2009). Credible worlds, capacities and mechanisms. *Erkenntnis*, this issue. doi:[10.1007/s10670-008-9134-x](https://doi.org/10.1007/s10670-008-9134-x).

Suppes, P. (1960), A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences. *Synthese* 12, 287--301.

\_\_\_\_\_ (1962). Models of Data. In E. Nagel, P. Suppes & A. Tarski (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress*. Stanford: Stanford University Press, (pp.252-261). Reprinted in Patrick Suppes: *Studies in the Methodology and Foundations of Science. Selected Papers from 1951 to 1969*. Dordrecht: Reidel(1969), 24-35.

\_\_\_\_\_ (2002), *Representation and Invariance of Scientific Structures*. Stanford: CSLI Publications.

Swoyer, C. (1991). Structural representation and surrogative reasoning. *Synthese*, 87, 449–508.

Tarski, A. (1956). *Semantics, Metamathematics*. Oxford: Clarendon Press.

Van Fraassen, B (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon Press.

\_\_\_\_\_ (1996). *Science, Materialism, and False Consciousness*. In Warrant in Contemporary Epistemology: Essays in Honor of Alvin Plantinga's Theory of Knowledge. Rowman Littlefield.

\_\_\_\_\_ (2008). *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford : Oxford University Press.

Van Eemeren, F. & R. Grootendorst (2004). *A systematic theory of argumentation: the pragma-dialectical approach*. Cambridge: Cambridge University Press.

Walton, D. & Krabbe. W. (1995). *Commitment in Dialogue*. New York: State University of New York Press.

Walton D. & [Macagno F.](#) (2006). [Argumentative Reasoning Patterns](#). Proceedings of 6th CMNA (Computational Models of Natural Argument) Workshop, ECAI (European Conference on Artificial Intelligence), Trento: University of Trento, 48-51.

Walton, D. (2004): *Abductive Reasoning*, University of Alabama Press.

\_\_\_\_\_ (2007). Dialogical Models of Explanation. In *Explanation-Aware Computing: Papers from the 2007 AAI Workshop*, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, Technical Report WS-07-06, AAI Press (pp.1-9).

\_\_\_\_\_ (2010). A dialogue system specification for explanation. *Synthese*  
DOI 10.1007/s11229-010-9745-z

Weisberg, M. (2007). Three kinds of idealization. *Journal of Philosophy* 104, 639-659.

Wessel, L (1990). Schrödinger y la tradición descriptiva, ensayo en Resortes de la creatividad científica, Mexico: Fondo de cultura Económica.

Winsatt, W (2006) William C. Commentary: Reengineering the Darwinian Sciences in Social Context. *Biological Theory* 1, 338-341.

Winsberg, E (2001). Simulations, Models and Theories: Complex Physical Systems and their Representations. *Philosophy of Science* 68, 442-454.

\_\_\_\_\_ (2003). Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. *Philosophy of Science* 70, 105–125.

\_\_\_\_\_ (2006). Models of success versus the success of models: Reliability without truth. *Synthese* 152, 1–19.

Woodward, J (2003). Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation. New York: Oxford University Press.

Woolgar, S (1991). *Ciencia: Abriendo la Caja Negra*. Barcelona:Anthropos.

Zamora Bonilla, J (1992). Truthlikeness without truth. A methodological approach. *Synthese*, 93, 343–372.

\_\_\_\_\_(1996). *Mentiras a medias. Unas investigaciones sobre el programa de la verosimilitud*. Madrid: Servicio de publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid.

\_\_\_\_\_(1999). Verisimilitude and the scientific strategy of economic theory. *Journal of Economic Methodology* 6, 331–350.

\_\_\_\_\_(2000). Truthlikeness, rationality and scientific method. *Synthese* 122, 321–335.

\_\_\_\_\_(2002). Scientific Inference and the Pursuit of Fame: A Contractarian Approach, *Philosophy of Science* 69, 300-323.

\_\_\_\_\_(2003a). *La lonja del saber. Introducción a la economía del conocimiento científico*. Madrid: Servicio de publicaciones de la UNED.

\_\_\_\_\_(2003b). Meaning and Testability in the Structuralist Theory of Science. *Erkenntnis* 59 (1), 47 - 76.

\_\_\_\_\_(2005a). *Cuestión de protocolo. Ensayos de metodología de la ciencia*. Madrid: Tecnos.

\_\_\_\_\_(2005b). *Ciencia Pública-Ciencia Privada. Reflexiones sobre la producción del saber científico*. Madrid: Fondo de Cultura Económica

\_\_\_\_\_(2006a). Science as a persuasion game. *Episteme*, 2, 189–201.

\_\_\_\_\_(2006b). Science studies and the theory of games. *Perspectives on Science*, 14, 639– 671.