



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN**

**CONOCIMIENTO Y REPRESENTACIÓN
CIENTÍFICA
TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN FILOSOFÍA**

**PRESENTA
MIGUEL ÁNGEL AMADOR ÁVILA**

**ASESOR: MTRA. MARÍA ESPERANZA RODRÍGUEZ
ZARAGOZA**

Mayo, 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mis padres. A mi papá, el señor Eleazar Amador Hernández, que siempre vivirá en mi pensamiento y a quien amo profundamente; lo extraño tanto. A mi mamá, la señora Isaura Ávila Ramírez, que me ha soportado y apoyado a lo largo de estos años; te amo mamita.

A mis hermanos, Alfonso y Aldo, con los que crecí y que sé que cuento con ellos. A mi hermana Aideé que me ha brindado su mano en momentos difíciles. Recuerdo cuando era niño y todos nos sentábamos a comer juntos. Mi padre en su lugar y nosotros alrededor de él; hasta ahora me dio cuenta de cuánto amaba nuestro hogar y que en ese instante no me hacía falta otra cosa que ustedes. Nunca lo olvidaré.

A mis tíos Darío y Margarita sólo les puedo decir: “gracias por existir”. A mi tío Alfonso por impulsarme y enseñarme tantas cosas en cada diálogo. Mención muy especial para Ana Sofía y Elisa Regina Amador porque alegran mi vida. También agradezco a mi prima, la Mtra. Felipa Heredia Amador, por su apoyo, confianza y consejos.

Para mi asesora, la Mtra. María Esperanza Rodríguez Zaragoza, cuyo apoyo, comprensión, amistad y regaños me dieron el impulso y las ganas de salir adelante. Para usted sólo tengo agradecimientos y buenos deseos; se merece lo mejor (ya lo tiene con Santiago y Juan). La estimo y la respeto mucho.

Para mis sinodales: Dr. Raúl Alcalá, Dra. María del Carmen Gómez, Mtro. Arturo Ramos y Mtro. Ernesto González Rubio; quienes con sus correcciones, sugerencias, críticas y regaños me hicieron ver mis errores para poder sacar adelante esta investigación. Naturalmente, soy el único responsable de los errores que aparezcan en el escrito.

Para mi luna: eres mi secreto, vivimos en las sombras que cobijan a los amantes, que se funden en un tierno abrazo. Resplandeces, como ninguna, en mi pensamiento y en mi cuerpo. Me has vuelto un necio que quiere besar tus labios con alevosía. Asimismo, me enseñaste que un beso es la antesala de algo maravilloso, en la que tú y yo terminamos juntos. Sólo te puedo decir que me atraes con esa manera tuya de pensar y sentir. Sólo tú, luna, sabes quién eres: gracias por brindarme la ayuda necesaria, te deseo lo mejor. I go crazy for you.

A mis amigos: Carlos, Elizabeth, Fabián, Cecilia, Thalía, Osvaldo, Hansel, Gerardo, Rubén y muchísimos más; les agradezco su amistad y por aguantarme tanto tiempo.

Por último, esta investigación fue posible gracias al proyecto PAPIME PE400211 “Estrategias y herramientas para la formación de estudiantes de lógica desde una perspectiva filosófica”. Agradezco, nuevamente, al responsable del proyecto, es decir, al Dr. Raúl Alcalá, y a mi asesora Mtra. Esperanza Rodríguez, por el apoyo.

ÍNDICE

	Página
Introducción	1
Capítulo I) Conocimiento y Representación Científica	6
1) Análisis de la noción de conocimiento.....	6
2) Creencia.....	7
2.1) Creencia y representación.....	9
2.2) Creencia y disposición.....	10
3) Creencia y justificación.....	13
3.1) La idea de comunidad epistémica.....	15
4) Relación conocimiento-representación científica.....	16
Capítulo II) Teorías científicas como representaciones	20
1) La teoría física como explicación.....	22
2) La teoría científica como un sistema lógico de proposiciones y clasificación...24	
2.1) La teoría física como un sistema lógico de proposiciones.....	24
2.2) La teoría física como representación.....	26
2.3) La teoría física como clasificación.....	27
3) Niveles de representación en la estructura de la teoría científica.....	29
3.1) Primer nivel de representación: de las propiedades físicas a la conformación de leyes.....	30
3.1.1) Representación de propiedades físicas: cantidad y cualidad.....	30
3.1.2) Representación como ley.....	33

3.2) Segundo nivel de representación: del desarrollo matemático a la elección de hipótesis fundamentales.....	34
3.2.1) Desarrollo matemático de la teoría.....	34
3.2.2) Elección de hipótesis.....	36
3.3) El experimento: constatación de la teoría con la experiencia.....	38
4) Estructura y niveles de representación en una teoría científica: un caso de termodinámica.....	39

Capítulo III) El modelo de representación científica de Ibarra y Mormann.....44

1) Características del enfoque pragmático-representacional de la ciencia.....	46
1.1) Agenda naturalista y socio-histórica.....	47
1.2) La ciencia como actividad social.....	48
1.3) El enfoque pragmático-representacional de la ciencia.....	50
2) Elucidación del concepto de Representación en la Ciencia.....	51
2.1) Enfoque Estándar.....	52
2.2) Enfoque Semantista.....	54
2.3) Enfoque Contextualista.....	56
3) Conceptos elementales de representación en la ciencia.....	61
3.1) Representación como isomorfía.....	62
3.2) Representación como sustitución.....	63
3.3) Representación como homomorfía.....	64
4) El modelo de Representación Científica de Ibarra y Mormann.....	66

4.1) Representación como homología.....	68
4.1.1) Diagrama de Hertz.....	69
4.2) Aspecto combinatorio de las representaciones.....	72
4.2.1) El problema <i>In vivo / In vitro</i>	74
4.3) Dimensión pragmática de la representación.....	76
4.3.1) Reducción e Inducción de complejidad.....	78
5) El razonamiento subrogatorio como componente esencial de la Representación Científica.....	80
5.1) Características del razonamiento subrogatorio.....	80
5.1.1) El razonamiento subrogatorio en la resolución de problemas.....	81
5.1.2) El razonamiento subrogatorio como preservación de estructuras.....	82
5.1.3) Espacio de estados.....	85
6) Observaciones finales.....	87
Capítulo IV) Razonamiento subrogatorio en la teoría óptica: reflexión y refracción de la luz.....	90
1) Representación científica de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.....	91
Conclusiones.....	96
Bibliografía.....	103

Conocimiento y Representación Científica

Introducción

El objetivo de la presente investigación es defender que las teorías científicas son representaciones que nos funcionan como medio a través del cual hacemos patente cómo obtenemos conocimiento. De ahí que nuestra investigación se avocará al estudio de la relación entre conocimiento y representación científica. Por lo que el objetivo es mostrar la relación entre representación y ciencia. En este estudio analizaremos qué es lo que entendemos por 'conocimiento' y por 'representación científica'. Asimismo, otro objetivo es mostrar que la noción de representación de Ibarra y Mormann es mejor que otras porque, aunque variable, es pragmática y objetiva, y permite caracterizar adecuadamente parte de la práctica científica actual.

Se desprenden algunas cuestiones: ¿cómo se relaciona el conocimiento con la representación?; si existe una relación entre el conocimiento y la representación científica, en qué plano(s) se acota la representación. Dicho a manera de pregunta: ¿A qué aspecto del conocimiento se vincula la representación: a su origen, a su validez o a su justificación?

Veremos que el conocimiento puede entenderse como 'creencia justificada por razones objetivamente suficientes'. Por lo cual tendremos que mostrar que la representación es la base de la creencia, y si el conocimiento es creencia justificada, se sigue que la representación es la base del conocimiento científico. Además la representación es la base de la colectividad. El conocimiento se valida intersubjetivamente por lo que los agentes deben poder transmitirse sus creencias para ser confirmadas. Con ello podemos atisbar la primera relación entre conocimiento y representación científica.

Si concebimos a las teorías científicas como representaciones, entonces éstas se avocan a mostrarnos el adecuado encaje estructural entre el dominio de datos y el dominio de constructos simbólicos. De ahí que cuando se ha mostrado el encaje estructural entre ambos dominios se ha dado un paso para conformar o comprobar

la validez de las razones objetivamente suficientes que justificarán un saber, en nuestro caso a una teoría científica. La cual nos brinda conocimiento relevante de un aspecto o fenómeno del mundo. De ello resultaría que gracias a la representación científica podemos validar que nuestras razones objetivamente suficientes justifican un conocimiento. Así, la segunda relación entre conocimiento y representación científica radica en la justificación. En esta relación ahondaremos más.

De manera que uno de los campos a través de los cuales el ser humano obtiene creencias justificadas es el de la ciencia, cuya actividad es representar fenómenos que acontecen en el mundo; por lo cual el producto de dicha actividad es la representación científica.

Entendemos por ‘representación científica’ el producto de la actividad científica, que condensa hechos en leyes y leyes en hipótesis fundamentales, cuyo fin es preservar las estructuras entre el dominio de datos y el dominio de constructos simbólicos¹ para exhibir las simetrías entre ‘las consecuencias naturalmente necesarias’ –relación causal entre fenómenos- y ‘las consecuencias intelectualmente necesarias’ –lo que dicta la teoría-; ahondaremos en esta definición en los capítulos segundo y tercero. Sólo quiero aclarar que esa definición nos parece que es la que nos brinda una adecuada imagen de la actividad científica. Por lo que es plausible ver la adecuación de dicha propuesta mediante la explicación de una teoría científica. La teoría a analizar está en el campo de la óptica, a saber: los fenómenos de reflexión y refracción de la luz; esto se llevará a cabo en el cuarto capítulo.

Así, uno de los problemas a tratar es mostrar la adecuación de la propuesta de representación para explicar una teoría de carácter científico; ello implica iluminar el carácter representacional de la actividad científica y del conocimiento. Además,

¹ Con respecto a lo que se entiende como ‘dominio de datos’ sólo quiero decir que éstos hacen referencia a lo que <uno tiene a la mano>, es decir, como los elementos que son el punto de partida de una investigación; los cuales pueden referirse a esa relación directa con el mundo –por ejemplo, con lo empírico; sin embargo, no intentaré explicar la relación datos-mundo. En cuanto al ‘dominio de constructos simbólicos’ éstos son el sistema relacional que sirve para representar al ‘dominio de datos’. Ahondaremos más en este tópico en el capítulo III.

como objetivo adicional, se busca mostrar el papel fundamental del razonamiento subrogatorio para la representación científica; este tipo de razonamiento es esencial en la construcción de aquélla. Con esto se pinta un cuadro en el que marcamos nítidamente la relación entre conocimiento y representación científica.

En suma, si la representación es tal como la hemos definido, entonces podrá ser considerada como un medio a través del que podemos ver cómo una teoría científica nos brinda un conocimiento adecuado del objeto o aspecto del mundo estudiado. Al ver cómo una teoría científica brinda conocimiento tendremos que ver cuáles son las 'razones' que justifican dicho conocimiento y por qué es válido. Así mostramos la importancia de la representación científica en una teoría epistemológica.

Por otro lado, nuestro estudio, en un sentido, es exploratorio porque se avoca a la identificación de los elementos que relacionan al conocimiento y a la representación científica. En otro sentido, la investigación es descriptiva porque busca identificar las propiedades más importantes de aquéllos. El método que se perfila como el más adecuado a seguir es el deductivo, debido a que vamos del análisis de algo más abarcante como es el conocimiento, a cuestiones muy particulares, como el razonamiento subrogatorio. Por lo que esto determina mi manera de proceder, lo cual se ve plasmado en la estructura del escrito:

-Capítulo I: *Conocimiento y Representación Científica*. En este capítulo veremos: (i) la representación es un elemento fundamental para la creencia; (ii) la creencia es la base de nuestro conocimiento; (iii) nuestras creencias se justifican intersubjetivamente por razones objetivamente suficientes, lo cual supone una comunidad de sujetos cognoscentes; (iv) la justificación también conlleva un proceso tanto causal como lógico; y, (v) el conocimiento es creencia justificada. Una vez realizado lo anterior tendremos que ocuparnos de una primera aproximación a la relación conocimiento-representación científica para hacer ver que se necesita de un mayor análisis de la ciencia; en especial, en la estructura de las teorías científicas, para ir atisbando por qué éstas pueden ser denominadas representaciones.

-Capítulo II: *Teoría científicas como representaciones*. En este capítulo defenderemos que las teorías científicas son representaciones compuestas de distintos niveles representacionales. Asimismo, comprenderemos por qué puede definirse una teoría científica como un sistema de proposiciones lógicamente constituido cuyo fin es llegar a convertirse en una clasificación natural. Además, se hará patente que la representación es condensación, ésta es una de las características de este concepto. Por otro lado, en cuanto a los textos elegidos para sustentar lo dicho en este capítulo son dos: *La teoría física: su objeto y su estructura* de Pierre Duhem y *Representación y Ciencia* de Esperanza Rodríguez porque, respectivamente, nos ayudan a comprender la estructura de una teoría científica y los niveles de representación en ella.

-Capítulo III: *El modelo de representación científica de Ibarra y Mormann*. En este capítulo nos dedicamos al escrutinio del enfoque *pragmático-representacional* para tratar de mostrar que es un buen candidato para analizar teorías científicas e iluminarnos sus aspectos epistemológicos. El análisis se centrará en las nociones de *encaje estructural*, *simetrías* y *razonamiento subrogatorio*. Este último elemento lo consideramos como esencial para la representación científica. Con los resultados obtenidos junto con los de capítulos precedentes podremos en la conclusión de la investigación dar un veredicto acerca de qué tan factible es la hipótesis de esta tesis. Por otro lado, el texto que nos sirve como base de este capítulo, arriba mencionado, es *Representaciones en la ciencia* de Andoni Ibarra y Thomas Mormann; su elección obedece a que en él encontramos elucidados muchos de los elementos que conforman el enfoque *pragmático-representacional*; no obstante, tuvimos que utilizar otros escritos posteriores de los mismo autores para afinar dicho enfoque.

-Capítulo IV: *Razonamiento subrogatorio en la teoría óptica: reflexión y refracción de la luz*. Este capítulo puede ser considerado como un corolario de lo dicho en el capítulo III; es decir, analizamos esos fenómenos tratados por la teoría óptica a la luz del enfoque arriba mencionado; con ello vemos su viabilidad.

Para finalizar, sólo quiero agregar que a largo plazo, esta investigación sirve como el inicio para que, en un futuro, se pueda desarrollar una teoría de la representación científica que permita dar cuenta de algunos aspectos que no resuelven la teoría de Ibarra y Mormann –esto se tratará en la conclusión de esta investigación-. Asimismo, reitero, con la investigación se apoya la teoría de representación científica de Ibarra y Mormann, presentándola como una opción plausible para la fructífera explicación de una teoría científica, desde una perspectiva en la que sea entendible por medio de una explicación filosófica (en nuestro caso nos avocaremos a la teoría óptica que atiende los fenómenos de la refracción y reflexión de la luz). También, pretende verter luz en torno al concepto de representación científica para que, a la postre, puede ser definido con mayor claridad y precisión. A la vez, nuestra investigación muestra la urgencia de que se tome más en cuenta, al momento de estudiar el conocimiento, a la representación –científica- puesto que es un elemento esencial para éste.

Por último, este trabajo puede llamar la atención a quien quiera profundizar en los distintos tipos de representación (por ejemplo, mental) o algunas nociones de representación que difieren de la que defendemos y mostrar cómo éstas se relacionan con el conocimiento.

Conocimiento y Representación Científica

Esta investigación tiene como objetivo mostrar que la representación científica funciona como medio a través del cual hacemos patente cómo obtenemos conocimiento del mundo, en otras palabras: que la representación científica es esencial para la adquisición de conocimiento. El primer paso para la consecución de lo anterior es delimitar qué es lo aquí vamos a entender por 'conocimiento'. Por ello la finalidad de este capítulo es dar una definición base de lo que entenderemos por 'conocimiento' para comenzar a vislumbrar cuál es la relación entre éste y la representación científica.

En este capítulo llevaremos a cabo la labor de explicar y presentar lo que vamos a entender por 'conocimiento'; lo cual se hará de la primera a la tercera sección. Para ello nos basaremos en el libro de Luis Villoro *Creer, saber, conocer*. En la cuarta y última sección nos ocupamos de una primera aproximación a la relación conocimiento-representación científica.

En este capítulo mostraré que la representación es fundamental para el conocimiento porque si pensamos que el conocimiento es una creencia justificada que se hace en comunidad, entonces la representación es fundamental para explicar su existencia, por lo siguiente: (i) La representación es la base de la creencia porque el contenido de la creencia es una representación; (ii) La representación es la base de la colectividad porque el conocimiento se valida intersubjetivamente por lo que los agentes deben poder transmitirse sus creencias para ser confirmadas; y, (iii) La representación es condicionante de la posibilidad de justificación dado que la justificación es intersubjetiva. Por la razón anterior.

1) Análisis de la noción de conocimiento.

La epistemología es la disciplina filosófica que se ocupa de los problemas relacionados con el conocimiento; entre los cuales uno de los principales es

responder a la pregunta: ¿qué es el conocimiento? Para nuestros propósitos, entenderemos conocimiento como 'creencia justificada por razones objetivamente suficientes'. Veremos que la representación es el contenido de la creencia; si la creencia es la base del conocimiento, se sigue que en el fondo la representación es un elemento importante para el conocimiento; además de que determina nuestro actuar en el mundo. Asimismo, nuestras creencias se validan intersubjetivamente, lo cual supone que debe haber una comunidad de sujetos epistémicos a los que les son accesibles mis razones para creer que p . Es decir, para que vean que mis razones para creer que p son objetivamente suficientes. Conforme a lo cual nuestro propósito en esta sección es dilucidar y clarificar a qué se refieren dichas condiciones para entender cómo es que se relacionan para tener conocimiento. Así, tendremos una noción de conocimiento para comenzar el análisis de la relación entre éste y la representación científica.

2) Creencia.

Esta sección tiene por objetivo indagar qué es lo que se entiende por 'creencia'; ello obedece a que la creencia es nuestro primer elemento base para ver cómo se construye el conocimiento.

Las creencias constituyen un elemento primordial en nuestra vida cotidiana debido a que determinan la manera en que vemos el mundo y nuestro actuar en él. Creer nos pone en relación con el mundo para comenzar a conocerlo; es la base de nuestro conocimiento. Para sustentar lo anterior es menester tratar de dar una respuesta a la pregunta: ¿a qué llamamos 'creencia'?

En primera instancia, llamamos 'creencia' a ese pensar que algo es de algún modo, sin recurrir a mayores demostraciones, atendiendo más a las apariencias. Con respecto a esta concepción es posible equiparar a la creencia con la opinión, puesto que en esta última aceptamos algo como verdadero sin atender o recurrir a algún criterio que sustente dicha verdad. Contra esto hay que decir que la creencia va más allá de la simple opinión debido a que en la creencia nos adherimos a eso que creemos, queremos que nuestra creencia sea verdadera y sí recurrimos a

algún criterio para sustentar su verdad. Hay que hacer énfasis que cuando creemos en algo creamos una serie de expectativas que van a regular mis relaciones con el mundo.

Siguiendo este tenor, podemos decir, en segunda instancia, que la creencia es esa adhesión del entendimiento a algo que se considera como verdadero². Algo que se considera verdadero como es el caso de una proposición.

Entendemos por proposición a la oración declarativa que es susceptible de ser verdadera o falsa, la cual constituye el contenido –pensamiento- expresado en la creencia. Vamos a ponerlo de un modo esquemático, basándonos en la relación hombre-lenguaje-mundo: respecto a la cual, la creencia se deposita o recae en el sujeto, el cual la expresa a través del lenguaje³ cuyo contenido son las proposiciones que refieren a estados de cosas o situaciones objetivas del mundo, así como a estados internos del sujeto. En concreto, el sujeto cree que algún objeto, estado de cosas o situación objetiva es así como él piensa; éste, si se me permite llamarlo así, es el primer paso para construir el conocimiento.

Por su parte, nuestro asentimiento respecto a una creencia es subjetivo, es decir: la creencia entendida como adhesión de nuestro entendimiento hacia algo que se considera como verdadero recae en el sujeto, se deposita en él. Conviene mencionar que muchas de nuestras creencias tienen su origen en la experiencia dada a través, por ejemplo, de la percepción. Esto es, que el origen y fundamento puede estar, en algunos casos, en el sentir, entendido como la captación de ciertos estados de cosas o modos de ser. Ese ‘captar’ puede ser identificado como la percepción. En palabras de García Olvera: “A ese captar lo que son las cosas por medio de... lo llamamos percepción [entendida como] lo que se hace presente en mí en el choque con las cosas.”⁴ Cuando percibimos aprehendemos, por decirlo así, datos distintivos o modos de ser del objeto (por ejemplo las cualidades

² Cfr. Francisco García Olvera, “Anthropos: El misterio del hombre”, en *Cuadernos de investigación* 16 (México: UNAM-ENEP ACATLÁN, 1997), 39.

³ Se sigue que el lenguaje es el vehículo que permite al ser humano expresarse y comunicar sus creencias con sus semejantes, no sólo sus creencias, también su conocimiento.

⁴ García Olvera, “Anthropos”, 52.

sensibles) para conformar una noción del mismo; lo que a su vez posibilita el poder aseverar cosas acerca de él. O sea: gracias al contacto entre el objeto y yo es que puedo formarme una creencia de cómo es éste; la experiencia es el resultado del contacto del objeto conmigo, lo que me permite formarme una creencia, representación, de cómo es el objeto. Reitero, por esta razón mi creencia basada en la experiencia supone que aquélla corresponde con el objeto.

2.1) Creencia y representación.

Crear genera en nosotros una serie de expectativas que regulan nuestras relaciones en el mundo⁵. Dicho de otro modo, cuando creemos que p –situación– significa que nos representamos a p y que tenemos una disposición a actuar como si p fuera el caso. Por otro lado, siguiendo a Villoro, hay que distinguir entre ‘la simple representación de p ’ de ‘la creencia en p ’. La representación debe ser considerada en cuanto a la proposición; es el tener por existente al objeto representado en el mundo. Mientras que la creencia añade ‘el tener por verdadero, o que existe, p ’, con la expectativa de encontrarlo en mi mundo⁶. De manera que, como considera Villoro, la representación conlleva la aprehensión de un objeto sin considerar la propensión a responder a él⁷; aquí la creencia añade la disposición a comportarse de cierto modo, determinado por el objeto aprehendido. Conviene

⁵ Cfr. Luis Villoro, *Crear, saber, conocer* (México: Siglo XXI, 2011), 32.

⁶ Cfr. Villoro, *Crear, saber, conocer*, 62-3.

⁷ Hay que aclarar que Villoro al hablar de representación está haciendo referencia a la ‘representación mental’. La cual puede entenderse como la imagen o el concepto que se forma a partir, por ejemplo, de una experiencia perceptual. Como dice León Olivé: “Percibir un objeto, entonces, es tener una representación de él, tomar un cierto estado físico que indica su presencia, aunque el agente perceptual no *sepa* nada de ese objeto, ni siquiera qué es. Pero representarse un objeto siempre es representárselo como *algo* (como un objeto, distinto de su entorno), aun cuando esta representación sea incorrecta, por ejemplo porque se perciba como presente un objeto que no está ahí.” En: León Olivé: “Representaciones, producción de conocimiento y normatividad: un enfoque naturalizado”, en *Normas y prácticas en la ciencia*, comps. Miguel Esteban y Sergio F. Martínez (México: UNAM-IIF, 2008), 94. Si bien es de interés este tipo de representación para la filosofía, no lo es tanto para nuestra investigación porque esta concepción se queda en el plano de lo subjetivo y la noción de representación por la que pugnamos es por una de, vamos a decirlo así, de carácter objetivo. No obstante para profundizar en este tema puede verse: David Pitt, "Mental Representation", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (invierno 2012 [citado el 4 de noviembre 2013]), ed. Edward N. Zalta: disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/mental-representation/>

citar lo que Luis Villoro aclara respecto a la representación:

La simple representación del objeto no es pues condición *suficiente* pero sí condición *necesaria* de la creencia. Para creer en algo es necesario que de algún modo hayamos aprehendido el objeto o situación objetiva creídos. La aprehensión puede ser un proceso de percepción, de imaginación o de memoria: en ese caso, el objeto se presentará en imágenes perceptuales, fantaseadas o mnémicas; puede ser también la simple comprensión del significado de una oración: lo representado será el objeto proposicional en cuanto comprendido. Por otra parte, la aprehensión puede ser inmediata, en el simple percatarse de algo dado, o mediata, resultado de un proceso en que referimos los datos a la unidad de un objeto, o de una inferencia. En cualquier caso, no podemos creer en nada que no haya sido aprehendido en alguna forma y representado en la percepción, la memoria, la imaginación o el entendimiento⁸.

Entonces, podemos describir la conformación de una creencia como un proceso de aprehensión y representación de objetos o situaciones que se consideran como existentes y que van a regular nuestro actuar en el mundo.

2.2) Creencia y disposición.

Es preciso mencionar que lo que distingue a la representación como una proposición, de la creencia en ella, ya no es la cualidad específica de creer –sólo cognoscible para el sujeto- sino la disposición a tener una serie de comportamientos comprobables para cualquiera⁹. Se entiende por ‘disposiciones’, no las propiedades observables de los objetos –ocurrencias-, sino las características que tengo que atribuirles para explicar ciertas ocurrencias. Un ejemplo sería la disposición que tiene el azúcar de ‘desaparecer’ o disolverse en el agua. Otra característica de las disposiciones es que se expresan en una serie de enunciados hipotéticos:

“S tiene la disposición *d*” implica: “Si S está en la circunstancia C_1 , se comportará como X_1 ”, “Si S está en la circunstancia C_2 , se comportará como X_2 ” y... otros condicionales semejantes. Esta serie de enunciados, en muchos casos, debe quedar abierta, pues es difícil agotar todas las circunstancias en que pueda encontrarse un objeto y se manifieste su disposición. Pero no hay ningún hecho ni propiedad observable en S aparte de las

⁸ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 63.

⁹ Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 31.

circunstancias C_1, C_2, \dots, C_n y de los comportamientos X_1, X_2, \dots, X_n ¹⁰.

De lo antedicho, Villoro concluye que creer algo implica tener una serie de expectativas que regulan nuestras relaciones en el mundo. Para ilustrar lo anterior veamos el caso siguiente: si yo creo que manejar un automóvil a exceso de velocidad es peligroso porque es más probable que sufra un accidente fatal, como indican los reportes de tránsito, entonces en determinadas circunstancias (C) – cuando maneje un automóvil- me comportaré de tal manera (X) que le confiera verdad a mi creencia (p) –no manejaré a exceso de velocidad.

Así, las creencias, entendidas como disposiciones, van a determinar nuestros comportamientos. Conforme a lo cual podemos inferir de una serie de comportamientos de un sujeto que éste tiene cierta creencia; de manera que es plausible decir que el comportamiento es signo de una creencia. Conviene citar, *in extenso*, lo que Villoro piensa acerca de la creencia como disposición:

Frente a otras disposiciones psíquicas, sólo la creencia es disposición a actuar *como si p fuera verdadera*. La relación con la *verdad* de lo creído sería la diferencia específica que andamos buscando. Creer que p se diferencia de querer que p , o sea desear que p , o tener un sentimiento favorable a p , en el aspecto en que el sujeto considera p : en la creencia lo considera bajo el aspecto de verdadero. Esa nota, “como si ‘ p ’ fuese verdadera”, ya no se refieren al comportamiento del sujeto (el comportamiento del sujeto es un hecho, no es verdadero ni falso), se refiere a la correspondencia de lo creído con la realidad. Pues que “‘ p ’ es verdadera” es igual a p , donde p ya no es el nombre de la proposición sino del hecho a que ésta se refiere, podríamos decir también: “S cree que p si está dispuesto a comportarse como si p ”. Este “como si p ” ya no se refiere al comportamiento sino a la relación de lo creído (p) con el mundo; ésta sería la nota específica de la creencia¹¹.

Lo primordial de la cita anterior radica en dilucidar lo que tiene que ver con la correspondencia con la realidad, puesto que si se da ésta, entonces nos comportamos de cierta manera.

Otro rasgo importante es que las creencias pueden ser compartidas por mí y por los otros, debido a que pueden obedecer a propiedades susceptibles de aparecer tanto en “mi mundo”, subjetivo, como en “el de los otros”, aquí empieza a

¹⁰ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 32.

¹¹ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 42.

vislumbrarse el aspecto objetivo. ¿A qué me refiero cuando hablo de objetivo? Para tratar de responder a este cuestionamiento es imperante ocuparnos de lo que entendemos por 'objeto'; éste, de entrada, es lo que el otro, en tanto sujeto cognoscente, ha aprehendido y que yo o cualquiera puede aprehender: 'objeto' es lo que puede ser común a cualquier sujeto, lo que además supone una comunidad. Por lo que si un sujeto cree una proposición, yo u otro sujeto cualquiera podemos también creer en la misma proposición, porque ella puede ser un hecho del mundo común a todos y no sólo al primer sujeto¹². Ilustremos lo anterior con el caso siguiente: la gente que habita el pueblo 'x' cree que determinada parcela de tierra a las orillas del mismo es un 'campo minado', lo cual constituye un inminente peligro de muerte si alguien osado se aventura en dichos terrenos; si las personas creen que la proposición <<el campo está minado>> se basa en razones compartibles por cualquiera, entonces cualquier sujeto, habitante del pueblo, evitará andar sobre aquél terreno. Con este sencillo ejemplo se muestra que una creencia determina no sólo la acción de un individuo sino también la de otros. Así, la creencia es la disposición determinada por la representación de hechos aprehendidos por un sujeto.

Con base en lo antedicho, Luis Villoro nos da su definición de 'creencia': "Un estado disposicional adquirido, que causa un conjunto coherente de respuestas y que está determinado por un objeto o situación objetiva aprehendidos"¹³. Como reconoce el mismo autor, esta definición puede afectar el análisis del conocimiento, puesto que si se concibe al saber como una especie de creencia, éste puede verse como un estado disposicional adquirido que guía la práctica del sujeto ante el mundo; sin embargo, en el saber, el objeto o situación objetiva aprehendidos, que determinan dicho estado, se tienen que acompañar de la garantía de su existencia real. Por lo que el saber es una disposición a actuar que se conduce por la garantía de que las acciones del sujeto están determinadas por la realidad. Pero para determinar lo anterior se tiene que encontrar aquello que nos 'ata' a la realidad; tenemos que ver cómo se justifica nuestra creencia.

¹² Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 60.

¹³ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 71.

3) Creencia y justificación.

Una vez que hemos hablado de la creencia, como primer elemento para la construcción del conocimiento, ahora hay que ocuparnos de lo referente a su justificación; puesto que de ahí veremos que una creencia cuando está justificada se convierte en saber. Podemos llamar 'justificación' al proceso mediante el cual buscamos averiguar cómo es que una creencia corresponde con la realidad. Tenemos que tener en mente que cuando una creencia está justificada existe algo que la justifica. De manera análoga, si una creencia no está justificada, existe algo que la hace injustificada. Podemos llamar a aquello que justifica o no a una creencia el factor-J [J-factor]¹⁴. Dicho factor es la 'atadura' con la realidad, pero para sustentar esto se tienen que aducir razones que lo demuestren. Entendemos por 'realidad' al campo de los hechos, empíricos y lógicos. Es preciso mencionar que hay que entender por "Hecho" aquello que hace verdadera a una proposición; no como lo aseverado en condiciones ideales sino aquello que está allí en el mundo real. A su vez, "realidad" también puede verse como aquello que me resiste, se me opone, me hace frente, aquello que no es construido por mí. En cuanto a esto, Villoro explica que: "Cierto que sólo puede darse condicionado por mi aparato perceptivo y en el marco de mi estructura conceptual, pero no pretendería a la realidad del objeto percibido si no aprehendiera en él un elemento dado"¹⁵.

¿Por qué S [sujeto] cree que "p" [proposición]? Podemos responder que es por la justificación que da un sujeto a su creencia (contexto de justificación), dicho de otro modo: las razones con las que cuenta S para considerar que p es el caso¹⁶. Hay que aclarar que de ahora en adelante cuando hablemos de 'razón' o 'razones' queremos indicar que hacemos referencia a las 'pruebas', es decir, a 'aquello que respalda algo'; las razones son las que respaldan la justificación de una creencia

¹⁴ Véase: Matthias Steup, "Epistemology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (invierno 2012 [citado el 5 de noviembre 2013]) ed. Edward N. Zalta : disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/epistemology/>

¹⁵ Luis Villoro, "Sobre justificación y verdad: respuesta a León Olivé", *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía* 22, no. 65 (Agosto 1990): 84.

¹⁶ Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 74.

(por ejemplo, las razones que aduce un abogado para mostrar la inocencia de su cliente).

Cuando tratamos de justificar una creencia, acerca de un objeto, lo que hacemos es expresar las características que atribuimos a un objeto creído para juzgarlo como existente¹⁷. El puente que une a la proposición 'p' con el hecho p son nuestras razones. Así, las razones garantizan al sujeto el acierto de su acción en el mundo. "Razón", aunado a lo que ya se dijo, es lo que justifica que nuestra creencia sea verdadera:

El concepto de justificación remite al de razón y viceversa. Razón de la creencia de S en p es lo que hace que "p" sea verdadera (o probable) para S; justificación de la creencia de S en p es la operación por la que S deriva su creencia en p de una razón. Justificar una creencia es aceptar razones para ella, adoptar, por ejemplo, otra creencia que hace verdadera la primera. Lo cual equivale a decir: justificar la creencia en q es encontrar otra creencia en p de la cual se siga la verdad de "q". Con otras palabras: la creencia de S en p es, para S, razón que justifica su creencia en q, si S juzga que puede derivar la verdad –o probabilidad- de "q" de la verdad –o probabilidad- de "p"¹⁸.

Así, si investigamos el 'por qué de B' podemos contestar 'porque A'. De manera que la existencia de A es una condición necesaria de la existencia de B. Por otro lado, la verdad de A es un antecedente lógico de la verdad de B; así la conexión tiene lugar entre proposiciones. La primera explicación puede denominarse como causal, mientras que la segunda como lógica¹⁹. Villoro, luego de un amplio estudio, concluirá a este respecto que:

1. La explicación por razones suministra una explicación causal suficiente de la existencia de una creencia. La justificación puede interpretarse como una relación causal entre creencias. Las razones pueden ser causas de las creencias.
2. Sin embargo, la conexión entre proposiciones no puede ser causal sino lógica. La justificación puede interpretarse como una relación lógica entre objetos proposicionales de las creencias. Las razones tienen como antecedentes lógicos de los objetos proposicionales de las creencias que explican²⁰.

¹⁷ Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 77.

¹⁸ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 79.

¹⁹ Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 88.

²⁰ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 93.

Para que un sujeto llegue a considerar sus razones como suficientes para creer éstas tienen que ser coherentes con el resto de sus creencias conscientes. Asimismo, para que las razones sean suficientes para creer se necesita que el sujeto considere las que dispone completas para inferir de ellas, con mayor o menor probabilidad, su creencia. Además el sujeto tiene que considerar las razones con que cuenta como concluyentes. Entonces, para decidir si nuestras razones son suficientes tienen que ser concluyentes, coherentes y completas.

Es plausible aseverar que la justificación es una conexión tanto causal como lógica, y puede considerarse como relación entre creencias o entre proposiciones:

Si la creencia en p justifica para S la creencia en q , entonces, S infiere “ q ” de “ p ”. A la relación de *causalidad* entre una razón (creencia en p) y una creencia (creencia en q) corresponde una relación de *inferencia* entre sus objetos (proposiciones).

En suma, S justifica la creencia en q por la creencia en p , o bien la creencia en p es razón suficiente, para S , de la creencia en q , si y sólo si:

1] La creencia en p causa en S la creencia en q ,

o 2] S infiere “ q ” de “ p ”²¹.

De lo dicho podemos decir que la justificación es entendida como una relación en que determinadas creencias se explican por otras, las que a su vez se consideran razones suficientes; mas a la relación lógica correspondiente entre los objetos proposicionales de esas creencias, que se da al darse la justificación, la llamamos inferencia.

3.1) La idea de comunidad epistémica.

Las razones deben ser suficientes para garantizar que nuestra creencia es saber, independientemente de quién emita el juicio. Dicho de otro modo: un sujeto aduce razones objetivamente suficientes si éstas bastan para cualquier persona a la que le sean accesibles los mismos datos; también, que pueda comprender razones teóricamente semejantes y acepte el mismo marco conceptual. Por lo que: “Llamamos “sujeto epistémico pertinente” de la creencia de S en p a todo sujeto al que le sean accesibles las mismas razones que le son accesibles a S y no otras, y

²¹ Villoro, *Creer, saber, conocer*, 97.

“comunidad epistémica” al conjunto de sujetos epistémicos pertinentes para una creencia. Todo sujeto S forma parte de una comunidad epistémica determinada, constituida por todos los sujetos epistémicos posibles que tengan acceso a las mismas razones”²².

Pero ¿cuándo una razón puede ser aceptada por una comunidad epistémica? Podemos decir que una condición para que una razón sea objetivamente suficiente para creer es que baste para un sujeto epistémico y no haya ningún otro sujeto de la misma índole que la juzgue insuficiente, tiene que haber consenso entre los miembros de la comunidad. No obstante, esta condición resulta débil, por lo que hay que añadir que: para que nuestras razones sean incontrovertibles y objetivas, éstas no deben ser revocadas por razones complementarias. O sea que se dice que uno “sabe” cuando distingue o discrimina razones en favor o en contra de una creencia, puesto que de esta forma elimina las alternativas pertinentes que pudieran revocarlas, esto es, nulifican las razones suplementarias²³.

En realidad podemos decir que un sujeto tiene razones objetivamente suficientes para creer si y sólo si: (a) las razones son suficientes –concluyentes, coherentes y completas- para el sujeto; y (b) dicho sujeto puede inferir que ningún otro individuo de la comunidad epistémica pertinente pueda argüir razones suplementarias que revoquen su creencia; con ello se conviene en que la creencia es un saber²⁴. En el fondo, las razones objetivamente suficientes tienen que mostrar que ‘atan’ la creencia con la realidad.

4) Relación conocimiento-representación científica.

En esta sección nos ocuparemos de esbozar una primera aproximación a la relación entre el conocimiento y la representación científica. Como se ha visto la representación juega un papel importante en la formación de nuestras creencias puesto que puede entenderse como el contenido de éstas. No obstante si nos avocáramos a su estudio nos desviaríamos de nuestro cometido de ver a la representación no sólo como imagen sino como encaje estructural entre dominios

²² Villoro, *Creer, saber, conocer*, 147.

²³ Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 154.

²⁴ Cfr. Villoro, *Creer, saber, conocer*, 166.

de datos y simbólicos (pero de ello nos ocuparemos más adelante). Lo que nos enseña dicha concepción es que si la representación es la base de la creencia, y si el conocimiento científico es creencia justificada, entonces la representación es base del conocimiento. Dicho de otra manera: si toda creencia es la base de nuestro conocimiento, se sigue que sin representación no podemos hablar, en muchos casos, de conocimiento. Esto constituye la primera relación entre conocimiento y representación. La representación es un constructo epistemológico (puede entenderse por 'constructo epistemológico' a la construcción teórica gracias a la cual obtenemos conocimiento de una cosa en determinado campo de estudio). Si esto es así, qué es lo que entendemos por 'representación científica'; para dilucidarlo hay que ver primero qué es lo que entendemos por ciencia.

De entrada podemos definir a la ciencia como un conjunto de saberes compartibles por una comunidad epistémica determinada: teoría, enunciados que las ponen en relación con un dominio de objetos, enunciados de observación comprobables objetivamente; todo ello constituye un todo de proposiciones fundadas en razones objetivamente suficientes. Por tal razón puede añadirse que la experiencia del científico es un elemento importante para la ciencia; puede decirse que lo es hasta cierto punto porque la experiencia es intransferible y en experiencias no puede quedarse la ciencia ya que ésta se hace en comunidad; por ello se necesita de la representación porque ésta puede ser compartida por toda una comunidad epistémica (científica). No obstante, aseveramos que la experiencia sí desempeña un papel determinante para lograr descubrimientos o importantes avances en el campo de la ciencia, en especial en el de las empíricas, debido a que un sujeto al conocer –un científico dotado de una agudeza adquirida por sus continuas experiencias con objetos o hechos de su campo de investigación- puede darse cuenta de ciertos matices relevantes que le signifiquen un avance en su campo de estudio, obtenidos, claro está, a través de la experimentación. La ciencia como conjunción del saber de comunidades epistémicas –comunidades científicas- y el conocer personal –el científico- es un 'saber que se conoce'.

La ciencia nos brinda conocimiento a través de las teorías científicas. Las teorías

científicas son representaciones condensadas de fenómenos. Por tanto, la ciencia consiste en la representación de determinados objetos o fenómenos. A su vez, entendemos, en primera instancia, por representación científica, siguiendo a Ibarra y Mormann, como el adecuado encaje estructural²⁵ entre el dominio datos y el dominio de constructos simbólicos de la teoría, con lo cual se obtienen representaciones condensadas –teorías que dan cuenta- del fenómeno analizado. Conviene reproducir lo que dicen los mismos autores de su teoría de la representación:

Este objetivo se concreta diseñando una teoría de la representación significativa, para la cual la identidad característica de una teoría, no reside ni en la base empírica dada ni en los conceptos que fijan su marco conceptual, sino en el *espacio inducido*, por así decirlo, 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. La teoría propuesta sostiene que la significatividad empírica de una entidad teórica representacionalmente construida está determinada por la relación de representación, que la vincula estructuralmente con la estructura relacional asociada al objeto representado, y concretada en una red abierta de significados posibles, que serán fijados por su aplicación a distintos marcos, teóricos o fenoménicos. La actividad científica puede interpretarse, de hecho, como una práctica de realización de esos significados.²⁶

Lo que importa es el encaje estructural debido a que une a la base de datos con el marco conceptual, es ahí donde se da génesis a la representación, la cual da apertura a significados posibles que en la actividad científica se busca que se realicen. El encaje entre ambos dominios es lo que puede justificar que nuestras teorías puedan ser correctas; que nuestra teoría sea ese ‘saber que se conoce’, que sea parte de la ciencia.

Si concebimos a las teorías científicas como representaciones, entonces las

²⁵ Entendemos por ‘encaje estructural’ la preservación de las relaciones entre dos sistemas relacionales, uno de los cuales sirve para entender mejor, por medio de la representación, al otro. Se preservan relaciones tales como la transitividad, asociatividad, conmutatividad, etc. Espero aclarar mejor este punto cuando en el capítulo II veamos cómo se lleva a cabo la representación tanto de cantidades como de cualidades; asimismo, en el capítulo III cuando veamos cómo se preservan estructuras dentro de la teoría de la medida.

²⁶ Andoni Ibarra y Thomas Mormann, *Representaciones en la ciencia: De la invariancia estructural a la significatividad pragmática* (Barcelona: Ediciones del Bronce, 1997), 12-3.

teorías, de esta naturaleza, se avocan a mostrarnos el adecuado encaje estructural entre el dominio de datos y el dominio de constructos simbólicos. De ahí que cuando se ha mostrado el encaje estructural entre ambos dominios se ha dado un paso para conformar o comprobar la validez de las razones objetivamente suficientes que, a la postre, justificarán un saber que, en nuestro caso, es una teoría científica. La cual nos brinda conocimiento relevante de un aspecto o fenómeno del mundo. De ello resultaría que gracias a la representación científica podemos validar que nuestras razones objetivamente suficientes justifican un conocimiento. Así, la segunda relación entre conocimiento y representación científica radica en la justificación.

Surgen algunas cuestiones: (a) ¿es válido identificar a las teorías científicas como representaciones?; (b) ¿Sólo con el encaje estructural tenemos los elementos necesarios para conformar razones objetivamente suficientes?; y (c) ¿cuál sería el elemento esencial para que la representación científica nos dé cuenta de cómo conectamos ambos dominios en el encaje estructural; será que es aquí donde interviene el razonamiento subrogatorio? Estas y otras cuestiones serán analizadas en los siguientes capítulos.

Para terminar sólo quiero añadir que este último apartado ha sido únicamente una introducción y esbozo general respecto de lo que entendemos por conocimiento, ciencia y representación científica. Estos dos aspectos requieren de una mayor dilucidación para ver sus límites y alcances, para que podamos verificar si nuestra relación entre conocimiento y representación científica es correcta.

II

Teorías científicas como representaciones.

Como se ha dicho, el propósito general de esta investigación es mostrar la relación que guardan entre sí el conocimiento y la representación científica. En el capítulo anterior hemos presentado una definición de conocimiento como 'creencia justificada por razones objetivamente suficientes'; también hemos visto que uno de los campos de investigación a través de los que genera conocimiento el ser humano es la ciencia, entendida como un conjunto de 'saberes que se conocen' que comparten diversas comunidades epistémicas; el conjunto de 'saberes que se conocen' se manifiesta o se hace patente mediante las teorías científicas. Las teorías científicas son la condensación de leyes que a su vez condensan una multiplicidad de hechos cuyo fin es preservar el adecuado encaje estructural entre el dominio de datos y el dominio de constructos simbólicos, en una palabra, son representaciones. Gracias a la condensación y al encaje estructural establecemos la relación entre conocimiento y representación científica. Para entender cómo se obtiene conocimiento a través de las teorías científicas es conveniente dilucidar la estructura de las mismas. Ello hará patente el carácter representacional de las teorías científicas. El paradigma que utilizaremos para mostrar la estructura de las teorías científicas lo hallamos en la teoría física.

Así, el objetivo de este capítulo es mostrar el carácter representacional de las teorías científicas, representaciones condensadas. Este objetivo se relaciona con el general porque si las teorías científicas son representaciones condensadas de hechos y leyes a través de los cuales obtenemos conocimiento, resulta que en el fondo estamos iluminando aún más la relación conocimiento-representación científica al poner a la vista el papel que este último elemento –la representación– desempeña en la ciencia. Mostraremos que hay dos niveles de representación ínsitos en la estructura de la teoría científica, a saber: (i) representación de magnitudes a leyes: y, (ii) representación de leyes a la conformación de la teoría. Además, con lo esbozado en este capítulo surge la necesidad de ahondar más en

un elemento primordial de la representación científica, esto es, en el estudio del 'razonamiento subrogatorio', tema de análisis para el siguiente capítulo.

Por otro lado, los textos que sirven como la base sobre la que descansa este capítulo son: *La teoría física: su objeto y su estructura* de Pierre Duhem, y *Representación y Ciencia* de Esperanza Rodríguez. La elección de estos textos se fundamenta en que en el caso de Duhem éste nos ayuda a entender la estructura de una teoría científica y en el caso de Esperanza Rodríguez nos enseña cuáles son los niveles de representación en la teoría científica.

En cuanto a su estructura, el capítulo está dividido en cuatro secciones: en la primera y la segunda nos ocupamos de todo lo referente a la teoría científica - analizando el caso de la teoría física-, es decir, su objeto y su estructura para hacer ver el carácter representacional de ésta; lo cual nos lleva a vislumbrar dos niveles de representación: el primero que se inicia con la representación con símbolos matemáticos de los hechos empíricos cuya culminación se da con el establecimiento de leyes y el segundo es la condensación de estas leyes en un todo lógicamente constituido, la teoría; este asunto será tratado en el tercer apartado. En la última sección tratamos de plasmar los resultados obtenidos con la explicación de un ejemplo "simple" de experimentación. Sólo quiero aclarar que a lo largo del capítulo cuando se hable de "representación" debe entenderse que me refiero a "representación científica", que es la condensación de hechos empíricos en leyes que a su vez se condensan en hipótesis fundamentales para conformar una teoría en la que se tiene que dar el adecuado encaje estructural entre los dominios empírico y simbólico. En este capítulo nos ocupamos en mayor medida del aspecto de la representación como condensación, por lo que el estudio de la representación como encaje estructural será reservado, en su mayoría, para el siguiente capítulo.

De inicio podemos decir que Pierre Duhem en su libro *La teoría física: su objeto y su estructura* nos brinda una respuesta a la pregunta: ¿cuál es el objeto de una teoría física? Dos son las posibles respuestas: 1) la teoría física es una explicación; y, 2) la teoría física es un sistema de proposiciones. Defenderemos

que la segunda es la más adecuada para mostrar que las teorías científicas son representaciones. En lo que sigue dilucidaremos el porqué la teoría física no es una explicación y sí, en cambio, es un sistema lógico de proposiciones, ya que: permite que la teoría tienda a convertirse en una clasificación natural, en la que podamos deducir a partir de las hipótesis fundamentales lo que va a acontecer en la experiencia, y que pueda darse una condensación tanto de hechos a leyes así como la de éstas en hipótesis fundamentales para conformar una teoría. Así la teoría como conjunto de proposiciones debe procurar mantener una unidad lógica para lograr validez en sus deducciones para que, ulteriormente, los resultados de ellas sean experimentalmente adecuados.

Esto nos llevará a ver el carácter representacional de las teorías científicas y, por ende, de la ciencia; con ello seguimos tratando de mostrar la relevancia de la representación, en este caso científica, en la obtención de conocimiento.

Es preciso aclarar que nos valemos del análisis que hace Duhem de la teoría física porque nos sirve como marco de referencia para saber cómo está estructurada una teoría de esta naturaleza. Comprendemos que cada teoría científica –llámense químicas, físicas, biológicas, etc.- tiene sus peculiaridades, es decir, que puede diferir en algún aspecto de otras (por ejemplo: un mayor desarrollo matemático) pero, extrapolando los resultados de la investigación de Duhem, si en algo coinciden es que cada teoría científica es un sistema lógico de proposiciones porque tienden a clasificar, describir, y predecir los fenómenos de su ámbito de estudio mediante la deducción a partir de sus leyes y principios. Lo primordial de ser un sistema lógico es que permite la deducción. Por lo que al momento de dilucidar la estructura de la teoría física también lo hacemos, en determinada medida, de las demás teorías científicas.

1) La teoría física como explicación.

En este apartado nos ocuparemos en hacer ver que una teoría, en nuestro caso la física, no es o no constituye una *explicación* de los fenómenos de su ámbito de

estudio. Al considerar el objeto de la teoría física como una *explicación* apelamos a que dicha explicación trasciende el campo de la misma ciencia física, es decir, recurrimos a la metafísica, entendida como meta-teoría porque va más allá del método experimental, lo cual acarrea graves problemas; veamos el por qué.

Siguiendo a Duhem, “explicar” significa ‘despojar a la realidad de las apariencias’. Si el objeto de una teoría física es la explicación de leyes establecidas empíricamente, las cuales tratan de las apariencias sensibles, se sigue que en el fondo la teoría busca ir más allá de las simples apariencias (lo que hay “detrás” de ellas) para develarnos su “verdadera realidad”. Lo anterior se acepta si se admite que bajo las apariencias sensibles, reveladas por nuestras percepciones, existe una “realidad física” que difiere de estas apariencias. Si esto es así, entonces ¿cuál es la naturaleza que subyace bajo las apariencias sensibles? Dar una respuesta a esta pregunta trasciende el método experimental (ya que, por ejemplo, las observaciones que realiza un científico las hace, precisamente, basándose en las apariencias sensibles) y supone que el objeto de la física es la metafísica²⁷; porque, por ejemplo, los resultados de una teoría no tendrían que estar de acuerdo con la experiencia sino con algo que la trasciende, lo cual, por sí mismo, genera bastantes problemas, como la justificación de cómo tenemos acceso cognoscitivo a algo que trasciende nuestra experiencia. Se sigue, de ser cierto lo anterior, que la física está subordinada a la metafísica.

La teoría física no es una “explicación” porque no se ocupa de develar la “realidad” detrás de las apariencias sensibles, si lo hiciera se subordinaría a algún sistema metafísico, el cual no le proporcionaría los elementos suficientes para justificar determinados fenómenos; además, le cancelaría la posibilidad de obtener “consenso universal”. Una teoría científica no pretende mostrarnos lo que hay detrás de los fenómenos. Además, si las teorías científicas son una *explicación*, entonces no podrían ser vistas como representaciones. Esto porque: si la representación científica es entendida como condensación de hechos y leyes cuyo

²⁷ Cfr. Pierre Duhem, *La teoría física: su objeto y su estructura*, trad. María Pons Irazzábal (Barcelona: Herder, 2003), 5-9.

objetivo es preservar el adecuado encaje estructural entre el dominio de datos y el de constructos simbólicos, y si la *explicación* va más allá de lo empírico, se sigue que el encaje estructural entre dichos dominios nos es relevante o fundamental ya que lo que importaría no es la adecuación entre teoría y experiencia sino develar lo que se oculta bajo ésta.

2) La teoría científica como un sistema lógico de proposiciones y clasificación.

El propósito de esta sección es elucidar que la teoría física, y en general cualquier teoría científica, es un *sistema lógico de representaciones condensadas que tiende a convertirse en una clasificación natural*. De manera que nos ocuparemos, en primer lugar, de lo referente a la teoría como sistema de proposiciones, lo que nos hará ver su carácter representacional para, posteriormente, ver que el fin al que tiende toda teoría científica es convertirse en una clasificación. El paradigma que utilizaremos para lograr lo anterior es la teoría física.

2.1) La teoría física como un sistema lógico de proposiciones.

Puede decirse que la teoría física resume y clasifica lógicamente un conjunto de leyes experimentales, pero que no intenta explicarlas. En palabras de Duhem: *“Una teoría física no es una explicación. Es un sistema de proposiciones matemáticas, deducida de un pequeño número de principios cuyo objetivo es representar de la manera más simple, más completa y más exacta posible un conjunto de leyes experimentales”*²⁸. Representar de la manera más simple siempre y cuando se preserve un adecuado encaje estructural entre el dominio de datos y el simbólico, es decir una primera representación que va de los hechos a las leyes. El conjunto de leyes constituirá la teoría, esto es una representación de representaciones.

Duhem refiere que cuatro son las operaciones mediante las que se elabora una teoría física, y en las cuales podemos distinguir los dos niveles de representación

²⁸ Duhem, *La teoría física*, 22.

que comporta una teoría científica, a continuación se esboza una explicación de cada una de ellas²⁹:

I) Definición y medida de las magnitudes físicas. Con base en la observación de las propiedades físicas seleccionamos las que consideramos simples, a éstas les atribuimos, mediante métodos de medición apropiados, símbolos matemáticos, números y magnitudes. Con ello se puede hacer que a cada estado de una propiedad física le corresponda un valor de símbolo representativo. Representamos propiedades físicas a través de signos³⁰.

II) La elección de hipótesis. La relación entre las distintas clases de magnitudes introducidas en pocas proposiciones servirán para nuestras deducciones; estos principios son las *hipótesis*, las cuales son el sustento a partir del que se construye la teoría.

III) Desarrollo matemático de la teoría. La combinación de los múltiples y muy distintos principios o hipótesis de una teoría se hace según las reglas del análisis matemático, es decir, siguiendo la lógica algebraica: “Por lo tanto, lo único que se puede demandar durante la construcción es que los silogismos sean válidos y los cálculos exactos”³¹. La lógica se utiliza para darle su unidad y consistencia a la teoría, es decir, la validez en sus deducciones para que, ulteriormente, concuerden con la experiencia. De no tener consistencia lógica la teoría sería un conjunto de proposiciones inconexas y contradictorias, incapaces, en muchas ocasiones, de concordar con la experiencia.

IV) La comparación de la teoría con la experiencia. Las diversas consecuencias que se han obtenido de las hipótesis pueden traducirse en otros tantos juicios sobre las propiedades físicas de los cuerpos. Los métodos apropiados para la definición y la medición de dichas propiedades son el vocabulario que permite hacer la traducción. Estos juicios se comparan con las leyes experimentales que la

²⁹ En el último apartado de este capítulo ilustramos con el caso del *calor específico* cómo se da cada paso, así como los niveles de representación.

³⁰ Duhem, *La teoría física*, 22.

³¹ Esperanza Rodríguez Zaragoza, “Representación y ciencia”, (tesis de licenciatura, UNAM, 2007), 71.

teoría quiere representar; si los juicios están de acuerdo con esas leyes, con el grado de aproximación que implican los procesos de medición utilizados, entonces la teoría ha conseguido su objetivo y se considera adecuada; en caso contrario puede ser modificada o rechazada. Así, una teoría es adecuada si representa de manera satisfactoria, si hay una preservación estructural, un conjunto de leyes experimentales³² –el único criterio de adecuación para una teoría es su acuerdo con la experiencia, esto se hará patente cuando indagemos lo referente al experimento-.

Con estas cuatro operaciones la teoría se erige como un sistema de proposiciones porque las leyes tienen que ser coherentes entre sí para que los cálculos que se realicen a partir de ellas sean consistentes y no lleven a contradicción, ya que si aconteciera esto la teoría no nos daría un reflejo fiel del fenómeno de estudio. Al ser un sistema condensa multiplicidad de hechos en leyes y éstas en principios, con lo cual denota su carácter representacional. Ocupémonos de esta idea.

2.2) La teoría física como representación.

Una vez que nos hemos ocupado en dilucidar brevemente los pasos por los que se construye una teoría, es menester hacer lo mismo en cuanto a su aspecto representacional, esto es, la teoría es una representación condensada de fenómenos y leyes. Ante todo, la teoría debe ser considerada como una economía del pensamiento. Si las teorías científicas son representaciones, resulta que una característica de la representación científica es ser una economía del pensamiento³³ porque permite, por ejemplo, que asimilemos en enunciaciones breves lo que acontece en una multiplicidad de hechos.

La teoría física, al igual que otro tipo de teorías científicas, sustituye un gran número de leyes -una ley puede ser considerada como el conjunto de hechos condensados- por un reducido número de proposiciones, las *hipótesis fundamentales*. Así, pues, la teoría puede ser entendida como la condensación de

³² Rodríguez, "Representación y ciencia", 71-2.

³³ Esto puede considerarse como 'reducción de complejidad', véase: Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 288-301. (De este asunto nos ocuparemos en el capítulo siguiente).

un determinado número de leyes³⁴. El proceso nos remite a que el experimentador presenta hechos sin cesar a partir de los cuales formula leyes (representaciones condensadas de los hechos) a lo que el teórico imagina representaciones condensadas de éstas, con lo cual construye la teoría. La condensación es la economía del pensamiento, lo que a su vez es el objetivo y el principio rector de la ciencia³⁵, en otras palabras: el principio rector de la ciencia es la representación, ya que gracias a ella obtenemos y justificamos conocimiento al preservar el encaje estructural entre lo empírico y lo simbólico³⁶.

2.3) La teoría física como clasificación.

Uno de los aspectos centrales de la teoría física, que puede decirse en general de cualquier tipo de teoría científica, es ser una representación condensada de leyes experimentales. Al igual que éste, la teoría puede considerarse como una clasificación de leyes, cuya importancia radica en que: a) exhibe afinidades entre las cosas, lo cual posibilita mejores deducciones dentro de la teoría, y: b) posibilita el descubrimiento de nuevas leyes³⁷. En las líneas que siguen nos mantendrá en vilo este asunto.

Un rasgo primordial de la clasificación de leyes es que ésta constituye una distribución de aquéllas tomando como criterio algún parentesco entre sí; esto se da gracias a las deducciones a partir de los principios.

Resulta que el fin de una teoría, como lo indica Duhem, es transformarse en una clasificación natural, en la que se hace un conjunto de operaciones intelectuales que no refieren a individuos concretos sino a abstracciones –especies- que la clasificación ordena, lo que da como resultado la subordinación de los grupos particulares a los generales. Por ende, la clasificación es un cuadro sinóptico en el

³⁴ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 24.

³⁵ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 26.

³⁶ Esta sucinta explicación nos ilustra el carácter representacional de la ciencia pero no nos muestra con mayor detalle cómo es que se da dicho carácter, este aspecto podrá verse con más cuidado cuando nos ocupemos de la estructura de la teoría física, por ejemplo, en el asunto de la cantidad y la cualidad.

³⁷ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 34.

que se resumen las semejanzas, en el que el trabajo lógico radica en clasificar un gran número de leyes que se deducen de pocos principios³⁸.

Con base en lo dicho, si consideramos a la teoría como una clasificación natural ésta debe predecir lo que va a acontecer en la experiencia –capacidad predictiva- puesto que debe ser el reflejo de las relaciones entre las leyes empíricas y los hechos: “Y cuando la experiencia confirma las previsiones de nuestra teoría, sentimos que nos reafirmamos en esta convicción de que las relaciones establecidas por nuestra razón entre nociones abstractas corresponden realmente a las relaciones entre las cosas”³⁹. Dos ejemplos de clasificación natural son: i) la clasificación de los organismos –taxonomía- en biología, y; ii) la notación química.

Lo que permite el descubrimiento, siguiendo a Duhem, es el uso de la ‘analogía física’ y no de modelos. Los modelos sólo imitan a los fenómenos para poder comprenderlos mejor; en cierto modo su objetivo es netamente pedagógico puesto que crean una imagen visible y palpable de leyes abstractas –modelo mecánico construido con cuerpos concretos. Asimismo, la parte algebraica de una teoría también puede ser considerada como un modelo de ella –mecanismo algebraico. En resumen, para Duhem el uso de modelos participa escasamente en el descubrimiento y en los avances de la ciencia; pues los modelos son expositivos ya que representan los resultados ya obtenidos. Por tal razón la teoría física no debe verse como una familia o una colección de modelos.

En cambio la ‘analogía física’ es precisa correspondencia entre dos teorías. Aproximan dos sistemas abstractos en el que uno, que es más conocido, sirve para adivinar la forma del otro, así se ilustran mutuamente⁴⁰. Veamos un ejemplo que menciona el propio Duhem de esta ilustración mutua de dos teorías:

³⁸ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 37.

³⁹ Duhem, *La teoría física*, 34.

⁴⁰ Un ejemplo que podría ser usado para entender mejor este tópico se encuentra en: Bas van Fraassen, *La imagen científica*, trad. Sergio F. Martínez (México: Paidós-UNAM-IIF, 1996), 64-65. Ahí van Fraassen, en el fondo, muestra con un caso sencillo cómo por analogía una teoría llamada ‘geometría de los siete puntos’ es mejor explicada por otra teoría, en este caso, la ‘geometría euclidiana’.

La idea de cuerpo caliente y la idea de cuerpo electrizado son dos nociones esencialmente heterogéneas; las leyes que rigen la distribución de las temperaturas estacionarias en un grupo de cuerpos buenos conductores de electricidad tienen objetos físicos completamente diferentes. Sin embargo, las dos teorías cuya misión es clasificar estas leyes se expresan en dos grupos de ecuaciones que el algebraista no sabría distinguir. Además, cada vez que resuelve un problema sobre la distribución de las temperaturas estacionarias, resuelve también un problema de electrostática, y a la inversa⁴¹.

Esta mutua ilustración entre teorías no sólo supone una economía intelectual – traslada el aparato algebraico de la una a la otra- sino que además constituye un proceso de invención: “En efecto, puede ocurrir que, en uno de esos ámbitos en los que es válido el mismo planteamiento algebraico, la intuición experimental plantee con toda naturalidad un problema y sugiera la solución, mientras que en el otro ámbito el físico no hubiera sido inducido con tanta facilidad a formular esta cuestión o a darle respuesta”⁴². Con ello se muestra el por qué la clasificación tiene la capacidad para descubrir y dar avance a la ciencia.

Una vez que hemos elucidado por qué la teoría física, y en general muchas más en diversas áreas científicas, puede considerarse como representación es preciso ahondar más en su estructura para reconocer los niveles de representación ínsitos en ella; en general, para cualquier teoría.

3) Niveles de representación en la estructura de la teoría científica.

En la sección anterior mencionamos que la física, y en general cualquier teoría científica, se construye mediante cuatro pasos: 1) la definición y medida de las magnitudes físicas; 2) la elección de hipótesis; 3) el desarrollo matemático de la teoría, y; 4) la comparación de la teoría con la experiencia. Como es de suponer éstas van a constituir la estructura de la teoría física. En lo que sigue llevaremos a cabo el estudio de cada una de ellas sólo que las mencionaremos, en algunos casos, con distintos nombres.

⁴¹ Duhem, *La teoría física*, 124.

⁴² Duhem, *La teoría física*, 124-5.

El propósito de exponer la estructura de la teoría física es mostrar que hay dos niveles de representación inherentes en ella: el primero que inicia con la representación de propiedades físicas a través de símbolos matemáticos y que va a concluir con la conformación de leyes experimentales; el segundo que es la representación de las leyes experimentales condensadas en las hipótesis fundamentales de la teoría. Así, la teoría es representación de representaciones⁴³.

3.1) Primer nivel de representación: de las propiedades físicas a la conformación de leyes.

Este apartado está dividido en dos secciones: en la primera veremos cómo es que puede darse una representación matemática de ciertas cualidades físicas para que en la segunda sección vislumbremos que a partir de la condensación de hechos se forma una ley.

3.1.1) Representación de propiedades físicas: cantidad y cualidad.

La teoría física es un sistema de proposiciones lógicamente condensadas cuyo objetivo es representar y ser una clasificación natural de un conjunto de leyes experimentales que nos permite ver afinidades entre fenómenos e impulse descubrimientos. Lo que excluye que la teoría sea una serie de modelos mecánicos o algebraicos, ni que su objetivo sea proporcionar una “explicación”⁴⁴. El primer paso para conformar una teoría física es la representación de propiedades físicas, obtenidas de la observación, mediante símbolos matemáticos. Ello da paso a la pregunta: ¿cómo se representa un atributo físico por medio de un símbolo matemático? En el siguiente inciso nos ocuparemos en responder a dicha pregunta.

a) Cantidad.

La respuesta a la pregunta planteada en la sección precedente es que este atributo pertenezca a la categoría de ‘cantidad’, esto es, que sea una magnitud.

⁴³ Para un análisis más profundo de esta cuestión véase: Rodríguez, “Representación y ciencia”, 92. Es de las ideas plasmadas en aquel escrito del que extraigo mi propósito en esta sección.

⁴⁴ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 75.

¿Con base en qué reconocemos que, por ejemplo, la longitud de una línea es una magnitud?

Siguiendo a Duhem, lo primero que tenemos que hacer es comparar dos longitudes, lo cual nos llevará a reconocer cualquiera de estas tres relaciones: igualdad, mayor que..., menor que... ($=$, $>$, $<$): “Estas pocas características nos permiten utilizar el signo aritmético de la suma para representar la operación que consiste en poner varias longitudes una tras otra, y escribir $S=A+B+C...$ ”⁴⁵ Podemos decir que iniciamos seleccionando tres longitudes $-A, B, C-$; ellas son puestas en relación para definir si son iguales o desiguales ($=, >, <$); luego se realiza la adición de las longitudes para obtener una nueva $-$ en este caso $A+B+C=S-$ en la que se reflejan las operaciones anteriores. Posteriormente, explicado el mecanismo de la adición, se da paso al de la multiplicación, en este caso se adopta una longitud base que se repetirá n veces para obtener una nueva longitud Axn ; después adoptando una base $-$ puede ser por ejemplo el metro- podemos traducir cualquier longitud a la longitud de la base (por ejemplo, traducir de yardas a metros). Con ello:

Veríamos que los diversos estados de una magnitud presentan siempre relaciones de igualdad o desigualdad susceptibles de ser representados por los signos $=, >, <$; podríamos someter siempre esta magnitud a una operación que posee la doble propiedad *conmutativa* y *asociativa*, y, por consiguiente, susceptible de ser representada por el símbolo aritmético de la suma, por el signo $+$. Mediante esta operación, la medida se introducirá en el estudio de esta magnitud y permitirá definirla plenamente por medio de la reunión de un número entero, fraccionario o inconmensurable, y de un patrón. Esta asociación se conoce con el nombre de *número concreto*⁴⁶.

Entonces la representación numérica de una propiedad física exige que ésta sea una magnitud, esto es, que pertenezca a la categoría de cantidad: “Cada cantidad, por medio de una operación conmutativa y asociativa, es la suma de cantidades que son menores a la primera, pero de la misma especie que ésta, es decir, son

⁴⁵ Duhem, *La teoría física*, 140.

⁴⁶ Duhem, *La teoría física*, 142.

sus partes”⁴⁷. Una vez que hemos visto lo anterior, conviene preguntar ¿qué sucede en el caso de la ‘cualidad’? Trataremos de responder esto en el siguiente inciso.

b) Cualidad.

A diferencia de la ‘cantidad’ en la categoría de la ‘cualidad’ no se dan las operaciones conmutativa y asociativa. Ello no es obstáculo para representar una noción cualitativa por medio de números.

La clave es que la cualidad es susceptible de intensidades, es decir: que una misma cualidad puede representar una gran variedad de intensidades distintas. Éstas fijan y numeran poniendo el mismo número cuando la misma cualidad se presenta con la misma intensidad y marcando con un segundo número más elevado o más bajo que el primero en el caso de que la cualidad considerada sea, respectivamente, más o menos intensa. Ilustremos lo anterior con lo siguiente: la temperatura que es un símbolo numérico sirve para representar la intensidad de una cualidad llamada calor⁴⁸; además de lo numérico hay que especificar el patrón que representa la unidad (puede ser en grados Celsius o Kelvin).

Otro aspecto de suma importancia para la teoría es la elección de ‘cualidades primeras’. Estas son nociones irreducibles, esto es, elementos que componen nuestras teorías a las que se les atribuyen símbolos matemáticos que posibilitan utilizar el lenguaje del álgebra para razonar sobre ellas⁴⁹.

Ahora bien, como refiere Duhem, el criterio para saber si una cualidad es simple e irreducible se basa en que todos nuestros esfuerzos por reducir esta cualidad a otras han fracasado, esto es, que nos ha sido imposible descomponerla. No obstante, esto es relativo porque en un futuro es probable que se encuentre una manera de descomponerlo.

⁴⁷ Rodríguez, “Representación y ciencia”, 76.

⁴⁸ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 150.

⁴⁹ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 157.

La elección de 'cualidades primeras' se basa en dar una representación de un conjunto de leyes físicas lo más simplificada y resumida posible: "Nuestro deseo es conseguir la máxima economía intelectual y, por tanto, para construir nuestra teoría, es evidente que deberemos utilizar el menor número posible de nociones que se consideran primeras y de cualidades que se consideran simples"⁵⁰.

Dicho lo cual, hemos visto que es asequible representar propiedades que la observación revela como cualidades simples, lo cual constituye la materia con la que se conforman las leyes experimentales. Asimismo, el establecer relaciones entre los símbolos conlleva el desarrollo matemático de la teoría. Antes de tocar este asunto es menester ocuparnos de la representación como ley.

3.1.2) Representación como ley.

Con el estudio de la cantidad y la cualidad hemos visto cómo es posible representar con símbolos matemáticos ciertas cualidades físicas, lo cual va a contribuir a conformar las leyes que sostendrán a la teoría. Podemos concebir que la ley física es una condensación –representación- de una multitud de hechos, en la que se relacionan términos abstractos y simbólicos cuya aplicación a la realidad concreta exige que se conozca y se acepte todo un conjunto de teorías. Asimismo, una ley física al ser simbólica no es propiamente verdadera o falsa, más bien es de naturaleza aproximada. Ello porque todo símbolo no es ni verdadero ni falso y si toda ley física es simbólica, entonces ésta no es ni verdadera ni falsa. Los símbolos se dicen que son más o menos precisos si logran representar la realidad que tratan de significar. Por tales razones la ley física tiene el carácter de aproximada⁵¹.

Así, las leyes de la física son provisionales porque representan aproximadamente a los hechos de manera suficiente y son relativos puesto que si para un científico son suficientes para otro no lo serán. En palabras de Duhem:

⁵⁰ Duhem, *La teoría física*, 161.

⁵¹ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 222.

Las leyes de la física son provisionales porque los símbolos en los que se basan son demasiado simples para representar completamente la realidad; siempre existirán circunstancias en que el símbolo deje de representar las cosas concretas, en que la ley deje de enunciar exactamente los fenómenos; de modo que el enunciado de la ley debe de ir acompañado de las restricciones que permitan eliminar esas circunstancias, y esas restricciones nos las dan a conocer los avances de la física. Nunca se puede afirmar que la enumeración está completa, que la lista elaborada no sufrirá añadidos o retoques.⁵²

Dicho lo cual, una vez que hemos ahondado en la elucidación del primer nivel de representación en una teoría, esto es, la constitución y definición de sus leyes experimentales, donde intervienen la condensación y el encaje estructural, es menester ir más allá de este nivel, es decir, a la representación de representaciones.

3.2) Segundo nivel de representación: del desarrollo matemático a la elección de hipótesis fundamentales.

En la construcción de una teoría física se dan dos operaciones básicas: 1) representar mediante símbolos las propiedades que la observación revela – provisionalmente- como cualidades primeras (primer nivel de representación), y; 2) establecer relaciones entre dichos símbolos -leyes- para constituir los principios para las deducciones que se desarrollarán en la teoría (segundo nivel de representación). Todo ello constituye el sistema formal que es la teoría. Antes de analizar los principios –hipótesis de la teoría- hay que enfocarnos en dilucidar el desarrollo matemático de ésta⁵³. Una de las características primordiales de este desarrollo es la deducción, surge la pregunta: ¿qué es la deducción matemática?

3.2.1) Desarrollo matemático de la teoría.

La deducción matemática funge como un intermediario cuyo fin es enseñarnos que, basándonos en las hipótesis fundamentales –principios- de la teoría, la concurrencia de determinadas circunstancias dará lugar a determinadas

⁵² Duhem, *La teoría física*, 232.

⁵³ Cfr. Rodríguez, "Representación y ciencia", 88.

consecuencias⁵⁴. Es decir, si se producen unos hechos determinados, se espera que se produzcan otros. Además la deducción tiene que ir de acuerdo con las reglas que impone la lógica.

El desarrollo matemático se une a los hechos observables gracias a una traducción posibilitada por los métodos de medición. Sin embargo, la traducción no es fiel porque no hay coincidencia total entre los hechos y los símbolos numéricos⁵⁵.

Esto da cabida para hacer la distinción entre dos tipos de hechos: hechos teóricos –cuya característica es que tienden a ser exactos- y hechos prácticos –a diferencia de los teóricos estos son aproximados-. Acerca de esta distinción, postulada por Duhem, conviene, para aclararla mejor, citar *in extenso* lo que Esperanza Rodríguez refiere:

-Hecho: La temperatura está distribuida de determinada manera en determinado cuerpo.

-Hecho teórico: es el conjunto de datos matemáticos mediante los que un *hecho concreto es sustituido (traducido, representado)* en los razonamientos y cálculos de un teórico. Aquí todo está determinado de manera precisa. El cuerpo está definido geoméricamente, con aristas y puntos; se conocen perfectamente las longitudes y los ángulos que determinan su figura. A cada punto de este cuerpo le corresponde una temperatura, y esta temperatura es, para cada punto, un número que no se confunde con ningún otro.

-Hecho práctico: No contamos con la precisión que se tiene con el *hecho teórico*. El cuerpo no es ya un sólido geométrico, sino un bloque de concreto; sus aristas ya no son la intersección geométrica de dos superficies, sino columnas vertebrales redondeadas o dentadas, sus puntas están más o menos desmochadas y embotadas; no obtenemos la temperatura de cada punto, sino una especie de temperatura media correspondiente a cierto volumen no exacto; además no se puede afirmar que esta temperatura es igual a un número exacto.⁵⁶

Aclaremos que un hecho teórico no traduce solamente a uno práctico, se necesitan de muchos hechos teóricos para realizar esa función. Esto es,

⁵⁴ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 147.

⁵⁵ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 175.

⁵⁶ Rodríguez, “Representación y ciencia”, 80.

basándonos en la cita anterior, porque se necesita de una gama de diversos cálculos como los geométricos o los que se realizan para determinar la temperatura de cada punto, para poder llegar a un cálculo aproximado de la temperatura media del cuerpo concreto, físico.

Así, una deducción matemática, surgida de las hipótesis o principios en las que se base la teoría, puede ser útil o inútil según si, de las condiciones prácticamente dadas de una experiencia, permite obtener o la previsión prácticamente determinada del resultado. Aún con este problema la representación dada como ley física sigue siendo posible.

3.2.2) Elección de hipótesis.

Los elementos con los que se forma una teoría física son, por un lado, los símbolos matemáticos que se utilizan para representar las distintas cantidades y cualidades del mundo físico y, por el otro lado, los postulados generales que le sirven de principios –hipótesis fundamentales-. Con estos elementos la teoría física se ha de constituir como un sistema lógico; por lo tanto, se ve obligada a respetar –escrupulosamente- las leyes que la lógica impone a todo razonamiento deductivo⁵⁷.

La teoría tiene por principio *postulados* que son proposiciones en las cuales no exista contradicción entre los términos de un mismo postulado o entre distintos postulados⁵⁸. Asimismo, a lo largo de su desarrollo la teoría física es libre de seguir el camino que mejor le convenga, siempre y cuando evite la contradicción lógica.

Una vez construida matemáticamente la teoría hay que comparar el conjunto de proposiciones matemáticas con el conjunto de los hechos experimentales. Utilizando procedimientos de medición hay que asegurarse que el conjunto de los hechos experimentales esté representado por el conjunto de proposiciones

⁵⁷ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 270-1.

⁵⁸ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 271.

matemáticas. Hay que recordar que esto es importante para asegurar la adecuación de nuestra teoría:

Esta comparación entre las conclusiones de la teoría y las verdades de la experiencia es, por tanto, indispensable, ya que sólo el control de los hechos puede dar a la teoría un valor físico. Pero ese control de hechos ha de afectar exclusivamente a las conclusiones de la teoría, porque sólo ellas se toman como imagen de la realidad; los postulados que sirven como punto de partida para la teoría, los intermediarios mediante los que se pasa de los postulados a las conclusiones no están obligados a someterse a ese control.⁵⁹

Es decir, lo que va a importar es que los resultados de las operaciones –toda nuestra deducción- correspondan con los hechos; que el resultado de la teoría sea confirmado por la experiencia; esto es lo que le da su valor a la teoría.

Ya se han podido vislumbrar un poco dichas condiciones, por lo que es conveniente hacerlas explícitas: i) Una hipótesis no será contradictoria consigo misma o las hipótesis que sostienen la física no deben ser contradictorias entre sí; ii) Deben mantener una unidad lógica, y: iii) “Las hipótesis serán elegidas de tal manera que, de su conjunto, la deducción matemática pueda extraer las consecuencias que presenten, con una aproximación suficiente, el conjunto de leyes experimentales”⁶⁰.

Por lo que la representación esquemática, a través de signos matemáticos, de las leyes establecidas por el experimentador es, dice Duhem, el objetivo propio de la física. Así que toda teoría de la que se extraigan consecuencias manifiestamente contradictorias con una ley observada deberá ser corregida o rechazada. No obstante, no es posible comparar una consecuencia aislada de la teoría con una ley experimental aislada. Son ambos sistemas tomados en su integridad, el sistema entero de representaciones, por un lado, y el sistema completo de los datos de la observación, por la otra, los que deben ser comparados entre sí y cuya semejanza ha de ser apreciada. Esta comparación es posibilitada por la experimentación.

⁵⁹ Duhem, *La teoría física*, 272.

⁶⁰ Duhem, *La teoría física*, 291.

3.3) El experimento: constatación de la teoría con la experiencia.

El experimento es lo que le da el valor a nuestra teoría porque supone la medición de magnitudes para conformar leyes para que sean contrastadas nuevamente con la experiencia. Por lo que podemos decir que el objetivo de la física es la representación de las leyes experimentales. Una ley física es el resumen de una infinidad de experiencias obtenidas o posibles a través de la experimentación, por lo que es preciso preguntar ¿qué es un experimento de física? La respuesta nos la da Pierre Duhem: *“Un experimento físico es la observación precisa de un grupo de fenómenos acompañada de la INTERPRETACIÓN de esos fenómenos. Esta interpretación sustituye los datos concretos obtenidos realmente de la observación por representaciones abstractas y simbólicas que les corresponden en virtud de las teorías admitidas por el observador”*⁶¹.

Es preciso ver la distinción entre el *experimento ordinario* y el *experimento de física*: i) el resultado del experimento ordinario es la constatación de la relación que se da entre diversos hechos concretos: de un hecho producido artificialmente, resulta otro hecho; ii) el resultado de un experimento físico es la constatación del enunciado de un juicio que relaciona ciertas nociones abstractas y simbólicas, cuya correspondencia con los hechos observados la establecen las teorías. Así que: “Entre los fenómenos realmente constatados en el transcurso de un experimento, formulado por el físico, se intercala una elaboración intelectual muy compleja, que sustituye una relación de hechos concretos por un juicio abstracto y simbólico”⁶². La importancia de esta operación no sólo se manifiesta en la forma que adopta el resultado del experimento, también lo hace a través de los medios que utiliza el experimentador, es decir, los instrumentos de los que se vale. En el instrumento se encuentra concretizada la teoría, estos son ideados en función de la teoría puesto que realizan una función especial y específica en la interpretación de un fenómeno por parte de la teoría.

⁶¹ Duhem, *La teoría física*, 193.

⁶² Duhem, *La teoría física*, 201.

De manera que la aproximación de los resultados experimentales aumenta porque los instrumentos se hacen cada vez más precisos y se da una correspondencia entre los hechos y las ideas esquemáticas; la teoría representa de manera satisfactoria los hechos. No obstante, para lograr esta satisfacción hay que introducir en el experimento correcciones.

La corrección puede entenderse como el paso del instrumento esquemático a otro que simboliza el instrumento concreto (el instrumento esquemático es un modelo del instrumento real, concreto). Esto conlleva la necesidad de declarar que el instrumento real y el instrumento ideal y simbólico son indisolubles⁶³.

Lo que el físico enuncia de los resultados de un experimento no es un relato de los hechos constatados, es la interpretación de éstos al mundo simbólico creado por la teoría. Además, el resultado de un experimento científico nos da un grado más elevado de certeza que la simple observación vulgar. Lo que los distingue es que en el experimento físico nos dan a conocer datos más precisos.

Para finalizar, tratemos de aplicar todo lo esgrimido acerca de la estructura y niveles de representación de una teoría científica en un caso 'sencillo' de experimentación.

4) Estructura y niveles de representación en una teoría científica: un caso de termodinámica.

En esta sección utilizaremos un ejemplo bastante sencillo para ilustrar gran parte de lo esgrimido acerca de la teoría física, y en general de cualquier teoría. Así como de los niveles de representación que se dan en la teoría científica. De manera que supone muchos los conceptos analizados.

Cuando ponemos al fuego un recipiente con agua⁶⁴ vemos, luego de cierto tiempo, que ésta se calienta; lo cual significa que su temperatura aumenta. Podemos

⁶³ Cfr. Duhem, *La teoría física*, 204-5.

⁶⁴ Este ejemplo lo extraigo de: Eliezer Braun, *Una faceta desconocida de Einstein* (México: SEP-FCE, 1986), 13-6. Sigo plenamente la exposición llevada a cabo por dicho autor. Por lo que remito al lector a la obra ya citada por si quiere ahondar más en el ejemplo.

verificar esto si introducimos un termómetro. ¿Cómo se puede describir este experimento? En este caso hay una transferencia de calor de la llama al agua. Esto significa que la llama transfiere energía al agua. Así, mientras más tiempo dejemos el agua sobre el fuego, más energía se transferirá, es decir, habrá mayor transferencia de calor. En estas condiciones el agua absorbe la energía y como consecuencia responde aumentando su temperatura.

Ahora bien, supongamos que hacemos lo siguiente: tomemos un kilogramo de dos sustancias diferentes, en este caso 'agua' y 'aluminio'; a las cuales las colocamos durante el mismo intervalo de tiempo, añadiéndoles un termómetro, sobre el fuego. Al principio ambas sustancias tienen la misma temperatura, por ejemplo, la temperatura ambiente. Al finalizar el intervalo de tiempo leemos los termómetros y observamos dos cosas: i) Las dos sustancias aumentaron sus temperaturas, y; ii) Los aumentos experimentados por cada una de las sustancias no fueron los mismos. Así, por ejemplo, el agua habría aumentado su temperatura en 12°C , mientras que el aluminio en 55°C .

Lo anterior nos indica que el agua y el aluminio absorbieron el calor que les transfirió la correspondiente llama. La cantidad de calor absorbida por cada una de las sustancias fue la misma, ya que estuvieron colocadas de la misma forma sobre llamas con la misma intensidad y durante los mismos intervalos de tiempo. La segunda conclusión nos indica que cada una de las sustancias respondió de manera diferente a la misma cantidad de calor transferida. Una de ellas, el aluminio, experimentó un cambio de temperatura mayor que la otra sustancia, el agua. Conforme a lo cual podemos ver que las sustancias tienen una propiedad que es la de cambiar su temperatura a causa de una absorción de calor. Esta propiedad se mide por medio de la capacidad calorífica. Por tanto, la capacidad calorífica del agua es distinta a la del aluminio. De lo anterior se puede afirmar que cada sustancia tiene un valor específico bien determinado. Los valores numéricos del calor específico de distintas sustancias son distintos. Así, por ejemplo, el calor específico del agua, denotado por la siguiente ecuación, es:

$$\text{Calor específico del agua es} = 1 \frac{\text{caloría}}{\text{gramo } (^{\circ}\text{C})}$$

Esto quiere decir que para que un gramo de agua aumente su temperatura un grado centígrado es necesario transferirle una caloría de energía térmica. El calor específico del aluminio es 0.291 caloría gramo ($^{\circ}\text{C}$), o sea, que para que un gramo de aluminio aumente su temperatura 1°C se tienen que transferir 0.219. De manera análoga, cada sustancia tiene un valor particular del calor específico.

El ejemplo anterior nos hace ver cómo a partir de la observación común y corriente –un hecho familiar- podemos obtener conocimiento gracias al empleo de una teoría, en este caso la termodinámica. Vemos que gracias a la medición de intensidad del calor de cada sustancia podemos generalizar una fórmula para condensar el fenómeno para las demás sustancias. El enunciado: “cada sustancia tiene un valor particular de calor específico” es una representación condensada del ejemplo en el que engloba sus resultados a cualquier sustancia. Vemos cómo al utilizar la deducción matemática, podemos condensar dichos resultados y, por ende, calcular el calor específico de cualquier otra sustancia sin necesidad de realizar el mismo experimento una y otra vez. Claro que cuando queramos comprobar si nuestras deducciones son correctas tendremos que comparar nuestro resultado matemático con la experiencia, es decir, que los resultados obtenidos concuerden con los hechos, este es el criterio de verdad para una teoría, lo que le da su valor. Dicho de otra manera: que haya un adecuado encaje estructural entre el dominio empírico y el simbólico; que la representación sea adecuada porque se cumple una especie de ‘vaivén’ entre los datos y la teoría.

En nuestro caso, la transferencia de calor nos ayudó a determinar la capacidad calorífica de cada sustancia, lo que a su vez se constituye en representación condensada de un sinnúmero de hechos concretos. Esta primera representación junto con otras de la misma especie conformarán la teoría termodinámica – representación condensada de aquellas representaciones- que tiene que mantener una consecuencia lógica interna y externa, en este último caso, por ejemplo, ser consistente con la teoría cinética.

En suma, del ejemplo anterior podemos desglosar mejor los cuatro pasos y los dos niveles de representación en la construcción de una teoría científica. En el primer nivel de representación científica que va de la medición de las propiedades físicas a la conformación de leyes vemos cómo a partir de las relaciones de igualdad y desigualdad en los procesos de medición encontramos ciertas características de una sustancia –agua o aluminio- obtenidas mediante el uso de un instrumento –termómetro-, lo que a su vez permite representar esos resultados matemáticamente. Nociones como: transferencia de calor, absorción de energía, temperatura, permiten construir una ley junto con la representación matemática, por ejemplo, “cuanta mayor energía absorba una sustancia aumentará su temperatura”. Dichas nociones sirven para condensar una multitud de hechos en una ley. En cuanto al segundo nivel, *representación de representaciones*, de las leyes a la elección de hipótesis que conformarán la teoría, las leyes deben de mantener una coherencia entre sí, lo que posibilitará que las deducciones matemáticas, al ser válidas, reflejen como resultado las relaciones adecuadas entre las leyes empíricas y los hechos; todo el conjunto de leyes condensadas constituirá la teoría –en nuestro caso la termodinámica- que debe guardar una unidad lógica para que pueda representar adecuadamente, como en el caso de la ecuación arriba mencionada, los fenómenos de su campo de estudio. Una vez constituida nuestra teoría tendremos que volver a servirnos de la experimentación para constatar que ésta vaya de acuerdo con la experiencia. Es aquí donde el encaje estructural entre los dominios empírico y simbólico nos hace ver que a partir de la teoría obtenemos conocimiento, así como que ese conocimiento está justificado por dicho encaje estructural.

Como se ha podido notar cualquier teoría es un complejo sistema de proposiciones. Sea al momento de condensar el conjunto de hechos empíricos en una ley o condensar el conjunto de leyes empíricas para conformar una teoría. De lo anterior podemos sacar dos características esenciales de la representación: i) es condensación, sustitución, ya sea de hechos o de leyes, y; ii) tiene que ser un adecuado encaje estructural entre los dominios empírico y simbólico para que los resultados de cualquier teoría concuerden con la realidad (de los hechos a las

leyes se da un encaje estructural; de las leyes a la teoría se da la deducción – validez-). Para explicar mejor ambas características es necesario estudiar un elemento esencial de la representación científica, a saber: el razonamiento subrogatorio. El estudio de este elemento nos dará luz para entender aún más la naturaleza de la representación científica para que veamos cómo se justifica nuestro conocimiento de algún aspecto del mundo gracias a la representación. La representación nos brinda conocimiento gracias a la condensación de hechos y leyes. A la par que brinda conocimiento justifica el mismo. Es decir, cuando preguntamos cómo está justificado el conocimiento que nos brinda una teoría científica tenemos que recurrir para su clarificación al análisis del encaje estructural entre dominios empírico y simbólico, es decir, ver el funcionamiento de la representación científica.

III

El modelo de representación científica de Ibarra y Mormann

En capítulos previos hemos visto que el conocimiento es “creencia justificada por razones objetivamente suficientes”. Entendemos por ‘creencia’: la adhesión del entendimiento a algo que se considera verdadero y que va a determinar nuestros comportamientos. En la justificación vemos cómo se hace válida la correspondencia entre creencia y los hechos ya que debe basarse en razones objetivas, las cuales deben mostrar que p es lo que justifica a q , lo que implica afirmar que se descartan otras razones z , w , y . Asimismo, la justificación al ser objetiva trae consigo el hecho de que las razones aducidas para demostrar que nuestra creencia es verdadera no sólo dependen del juicio de una persona, sino que tienen que ser compartidas por toda una comunidad científica. Por lo que la justificación puede decirse que es objetiva por dos razones principales: (i) porque requiere que las razones que aducimos para mostrar que nuestra creencia en “ p ” es verdadera sean compatibles y accesibles a toda una comunidad epistémica, esto brinda objetividad; (ii) que las razones que tienen que respaldar nuestra creencia, como saber, sean el sustento que nos permita afirmar que dicha creencia “ q ” es consecuencia lógica de “ p ”.

Este último aspecto puede verse reflejado en el enfoque representacional homológico de Ibarra y Mormann. Por lo que uno de los propósitos particulares de este capítulo es hacer patente que la representación científica es adecuada si logra una consecuencia lógica entre lo que dice la teoría y lo que predice. Es decir, si decimos que una determinada teoría tiene leyes p , q , r a partir de las cuales podemos inferir z , entonces decimos que z es consecuencia lógica de p , q , r . Esto tiene verse reflejado en la relación causal entre, por ejemplo, hechos empíricos; es decir, de un determinado hecho se sigue otro.

Por otro lado, también hemos visto que la ciencia es uno de los campos a través del cual el ser humano genera conocimiento. Definimos a la ciencia como el “conjunto de saberes que se conocen” dentro de una comunidad epistémica pero que buscan la universalidad, estos se logran o se hacen claros mediante las

teorías científicas entendidas como representaciones. Hemos visto gracias a Pierre Duhem y Esperanza Rodríguez, respectivamente: la estructura de una teoría científica y los niveles de representación ínsitos en ella.

Todo esto no sería posible si no se da, en primer lugar, un adecuado encaje estructural entre el dominio de datos y el dominio de constructos simbólicos. Podemos aseverar que hay dos niveles en los que se percibe el encaje estructural: a) el que se da de los hechos a la conformación de la teoría, de D-datos a C-constructos simbólicos, y b) de la teoría a los hechos, de C-constructos simbólicos a D-datos. Siguiendo la estructura de la teoría científica, expresada en el capítulo anterior, estos dos niveles en los que se percibe el encaje estructural pueden verse como una especie de movimiento de 'vaivén'; precisamente el enfoque representacional de Ibarra y Mormann toma en cuenta este aspecto. En este vaivén los procesos de experimentación y conformación teórica van a irse depurando para representar mejor los fenómenos de su campo de estudio para que podamos obtener un conocimiento de ellos.

Con base en lo dicho puede aseverarse que si no hay un adecuado encaje estructural entre datos y constructos simbólicos no puede haber unidad lógica en la teoría científica, por lo que las inferencias que se hagan en ella no podrán verse como una consecuencia lógica entre las leyes y las explicaciones o descubrimientos que de ella se deriven; lo que a su vez no se reflejará en la relación causal entre los hechos empíricos.

Tomando en cuenta lo antedicho, podemos decir que el objetivo de este capítulo es dilucidar la propuesta pragmático-representacional de Ibarra y Mormann, para mostrar que su noción de representación describe mejor la práctica científica actual a diferencia de otras nociones. Con ello definiremos lo que vamos a entender por representación científica para que logremos, conforme al objetivo primordial de la tesis, ver su relación con el conocimiento. Además, con dicha exposición mostraremos cómo a través de la representación científica obtenemos conocimiento relevante del mundo; así como estudiaremos la importancia del razonamiento subrogatorio como elemento esencial de la representación.

El capítulo está compuesto por seis apartados: los apartados 1, 2 y 3 pueden considerarse como la exposición del marco teórico de referencia en el que se inserta el enfoque representacional defendido. En el apartado 1 se presentan, de manera general, las características del enfoque pragmático-representacional; en seguida, en el siguiente apartado, mostramos cómo se ha ido entendiendo el concepto de representación visto desde tres enfoques; luego, en el tercer apartado, nos ocupamos de exhibir las características de los conceptos elementales de representación que pueden encontrarse en la práctica científica. Respecto a los apartados 4, 5 y 6 éstos pueden verse mucho menos expositivos, ya que en ellos esbozamos algunos ejemplos para clarificar mejor lo que estamos tratando. En el apartado 4 nos ocupamos en presentar la propuesta representacional de Ibarra y Mormann centrada en la noción de homología. En el siguiente apartado nos ocupamos de cumplir el objetivo de mostrar por qué es esencial el razonamiento subrogatorio para la representación. Finalmente, en el apartado sexto sintetizamos los resultados obtenidos del estudio del enfoque pragmático-representacional.

1) Características del enfoque pragmático-representacional de la ciencia.

Se ve claramente desde la introducción del libro *Representaciones en la ciencia* el objetivo principal de sus autores –Andoni Ibarra y Thomas Mormann–, el cual es desarrollar una teoría comprehensiva de la representación que: (i) trate a la ciencia de manera comprehensiva, atendiendo sus aspectos pragmáticos, (ii) elucide el trasvase estructural entre una teoría y otra, y (iii) señale que las teorías científicas no son arbitrarias, aunque sean convencionales. La teoría que tome en cuenta estos puntos es denominada de la *representación significativa*.

Para la representación significativa lo que caracteriza a una teoría no se encuentra ni en su base empírica ni en los conceptos que fijan su marco conceptual, sino que radica en el *espacio inducido* por la relación de representación concebida como aplicación preservadora de estructuras. Así, la significatividad empírica de una

teoría construida representacionalmente está determinada por la relación de representación. Dicho con otras palabras: lo primordial es el encaje estructural que une a la base empírica con el marco conceptual, es ahí donde se va a desarrollar la representación, la cual da apertura a significados posibles –espacio de estados– que en la actividad científica se busca que se realicen.

Por otro lado, como punto de inicio para la dilucidación de estas características, Ibarra y Mormann se ocupan de las concepciones socio-históricas y naturalista de la ciencia para extraer de ellas algunos de los aspectos para perfilar su enfoque *pragmático-representacional*. Por lo que es conveniente ocuparnos de dicha agenda.

1.1) Agenda naturalista y socio-histórica.

Iniciemos con la concepción naturalista, la cual tuvo su origen en el llamado “giro naturalista”, postulado por Quine. Esta concepción se caracteriza por el rechazo al análisis conceptual *a priori* como la principal tarea de la filosofía de la ciencia (lo cual va en contra de la concepción de Carnap, ya que para él dicho análisis era la principal tarea de la filosofía de la ciencia). Otro aspecto digno de resaltar de esta concepción es el que tiene que ver con el mecanismo de la cognición: “Se trata de comprender las capacidades y procesos cognitivos humanos desarrollados en las prácticas científicas, de explicar por ejemplo cómo los seres humanos dotados con determinados atributos logran comprender tanto acerca de las estructuras del mundo, ya sean éstas estructuras de átomos, genes, fenómenos entrópicos, etc. [...] El análisis estructural típico de la interpretación estándar se ve reemplazado así por un cúmulo de teorías sobre los mecanismos de la cognición científica”⁶⁵.

Se puede atisbar, de lo dicho en la cita anterior, que lo que va a permitir que los seres humanos aprendan tanto acerca de las estructuras del mundo es gracias al razonamiento subrogatorio. Aquí no nos detendremos en esta cuestión, la cual esperamos aclarar en el apartado que dedicamos a su escrutinio.

⁶⁵ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 25.

A su vez, para deshacerse del estigma de arbitrariedad se apela a que una teoría naturalizada tiene que ser el resultado de los procesos cognitivos de una comunidad científica. Dicho de otro modo: es con base en el juicio colectivo que se ofrece objetividad en la ciencia, incluso se diluye la distinción o la dicotomía entre cuestiones externas –práctica- e internas –cognoscitivas-. De ahí que nuestros autores asuman un enfoque naturalizado empírico debido a que constituye un criterio de objetividad basado en la naturaleza representacional del conocimiento en general.

En cuanto a la agencia socio-histórica, se toma como punto de partida la propuesta de Woolgar, la cual expresa que la representación es condición necesaria para aprehender objetividades –a diferencia de las posturas que conciben a la representación como un instrumento neutral-; la representación construye objetividades. En concreto: “Lo que le interesa a Andoni y Mormann sobre la agenda socio-histórica es que la caracterización resultante de los mecanismos de objetivación científica, se fundamentan en el producto de la homogeneidad cultural de los científicos –las culturas epistémicas- que acuerdan evaluar ciertos constructos como teóricamente válidos”⁶⁶. La importancia de lo social es relevante para nuestros propósitos.

Es relevante porque, como ya hemos visto en el primer capítulo, la comunidad epistémica determina la objetividad del conocimiento. Así, ambas agendas incluyen el aspecto colectivo como elemento fundamental para mostrar un conocimiento como objetivo. Dicho lo cual, siguiendo a nuestros autores, hay que precisar algunas características de la ciencia como una actividad social.

1.2) La ciencia como actividad social.

La ciencia como constructo social puede caracterizarse como una práctica de una comunidad de personas, esto tiene dos sentidos: en cuanto que es aprendida de otros y en cuanto está constituida por reglas que se siguen habitualmente⁶⁷. Así se

⁶⁶ Rodríguez, “Representación y ciencia”, 36.

⁶⁷ Cfr. Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 37.

caracteriza a la ciencia como un constructo social. Ello abre la puerta para hacer algunas críticas a la concepción constructivista social de la ciencia. La primera crítica va contra la concepción kuhniana de comunidad científica, en ella no se explica adecuadamente qué se entiende por dicha comunidad, de igual manera no se aclara la función del concepto de teoría compartida. El segundo problema es el de clarificar la naturaleza de las teorías, para Ibarra y Mormann las teorías son representaciones iteradas, es decir, una teoría es una combinación de teorías – politeoría-. En tercer y último lugar, encontramos el aspecto de la práctica social, de esta cuestión se sigue la idea de que el conocimiento científico es la aptitud o capacidad para comprometerse en tal práctica. Sin embargo, pasa por alto la distinción que versa sobre el ‘conocer una teoría’ y la ‘aptitud para usarla’. Asimismo, nuestros autores aceptan que los planteamientos del constructivismo social tiene un trasfondo wittgensteiniano, porque “el conocimiento está inseparablemente vinculado a la acción práctica, porque la intención requiere siempre de algún tipo de conocimiento de las reglas a aplicar –para hacer algo se ha de ser capaz de saber, del modo que sea, lo que se va a hacer; como esas reglas son intersubjetivas o sociales –públicas-, su conocimiento es *común*, no *privado*. La construcción de la ciencia se identifica así con ese conocimiento común, patentizado por el comportamiento característico observado por una comunidad de científicos, La identificación de ese comportamiento es suficiente para ofrecer una prueba concluyente de la existencia de un mecanismo común”⁶⁸. Hay que aclarar que dicho conocimiento común, obviamente, debe estar respaldado por razones objetivamente suficientes. El conocimiento común que se ofrece en la construcción de la ciencia está ligado fuertemente al ámbito social, ya que de este modo se vuelve objetivo –aunque no es el único requisito del que obtiene esa cualidad-, es decir, accesible para cualquier miembro de la comunidad científica.

Tanto en el espacio inducido por el encaje estructural obtenido gracias a la relación representacional como aplicación preservadora de estructuras, así como el criterio de objetividad basado en el resultado común de los procesos cognitivos

⁶⁸ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 45.

de toda una comunidad científica que constituye un conocimiento en común, van a estar reflejados en el enfoque pragmático-representacional de la ciencia; sin los cuales dicho enfoque no se entendería.

1.3) El enfoque pragmático-representacional de la ciencia.

La propuesta pragmático-representacional tiene como finalidad construir una teoría de la ciencia, transdisciplinar, que satisfaga algunos de los criterios de la práctica científica. El punto de inicio es afirmar el carácter representacional del conocimiento científico y del conocimiento en general. Para la consecución de lo anterior se tiene que erigir una teoría representacional, como comentan nuestros autores, que esté libre de la descripción estadística y la interpretación arbitraria de dicho material; esto se logra identificando los componentes y relaciones de las teorías para que con ello se puedan construir las estructuras explicativas de la práctica representacional de la ciencia. De manera análoga, la teoría debe de concebir que la ciencia se interpreta como el producto genuino de una práctica representacional que opera sobre las estructuras cognitivas generadas por reglas funcionales de carácter general⁶⁹.

Lo anterior puede calificarse como *pragmático-representacional*. Esta perspectiva posibilita la singularización del significado de ciertas entidades teóricas – representaciones- que junto con elementos semánticos incluyen los contextos de aplicación de dichas entidades –procesos admisibles-. Dichas entidades teóricas conllevan poder ser usadas por un sujeto –individual o comunitario-, que es quien las manipula para obtener conocimiento de un determinado fenómeno.

Si la ciencia, definida intuitivamente, es una representación más refinada que el conocimiento corriente del mundo y si los científicos, guiados por cierta intención, deciden la adecuación de la representación; entonces la intencionalidad del sujeto –individual o comunitario- es relevante para la representación de sistemas relaciones puesto que los esquemas cognitivos –modelos- construidos por su actividad representacional son los que dan objetividad a la ciencia. Dicho lo cual,

⁶⁹ Cfr. Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 46-7.

la noción de representación se constriñe a los siguientes puntos: “(i) la ciencia consiste en la representación de determinados objetos –estructurados- por medio de modelos –representaciones geométricas generalizadas-; (ii) la condición de posibilidad de la representación –en la ciencia- está determinada por la existencia de una adecuada relación preservadora de estructuras entre el objeto representado y su representación; y (iii) la significatividad de la representación queda fijada en el marco de aplicaciones acotado intencionalmente por el sujeto interpretante”⁷⁰. Los puntos anteriores se aclararán cuando nos ocupemos de la representación como homología y del razonamiento subrogatorio.

Como se ha visto el enfoque *pragmático-representacional* queda perfectamente acotado en los tres principios mencionados arriba. De igual forma, sirven como criterio para descartar qué representaciones son relevantes o no en la ciencia.

Antes de entrar por completo en el modelo de representación científica como homología de Ibarra y Mormann, es menester ocuparnos de tres modelos de representación anteriores al de nuestros autores. Gracias al estudio de estos modelos podremos ver cómo son superados por el modelo homológico⁷¹.

2) Elucidación del concepto de Representación en la Ciencia.

El objetivo de esta sección es elucidar el concepto intuitivo de representación científica a partir de tres enfoques antecesores a la propuesta de Ibarra y Mormann. Proceder de esta manera nos ayuda a delimitar aún más la noción *pragmático-representacional* afinando aspectos fundamentales de la misma. Asimismo supera las limitaciones e integra muchos aspectos que ofrecen estos enfoques. Los enfoques a tratar son: 1) El enfoque estándar –tradicional-, 2) El enfoque semanticista, y 3) El enfoque contextualista. Por lo que se dividirá en tres apartados en los que se analizan cada uno de ellos.

⁷⁰ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 37.54.

⁷¹ Cfr. Rodríguez, “Representación y ciencia”, 8.

2.1) Enfoque Estándar.

Para el enfoque Estándar la representación se concibe como una correspondencia entre niveles. Su representante más importante es Rudolf Carnap, con lo que la postura puede catalogarse dentro de la perspectiva del positivismo lógico.

En primera instancia puede concebirse a la representación, en relación al lenguaje científico, como una correspondencia entre un lenguaje teórico y un lenguaje observacional. Conforme a lo cual el conocimiento científico se fundamenta en la experiencia; de ahí que el valor de verdad de los enunciados del lenguaje teórico estén dotados de sentido por medio de la experimentación o la observación. En otras palabras, la objetividad de los enunciados científicos radica en su posibilidad de reducción a enunciados vinculados a lo “dado”. Sin embargo esta caracterización es inconsistente con la práctica científica, por lo que se tiene que volver a plantear una solución para el problema de la significatividad empírica; es inconsistente porque: “La confirmación no es la relación entre enunciados teóricos y una realidad experienciada o experienciable, sino una relación formal entre los diversos planos lingüísticos construidos convencionalmente para las teorías científicas. Un enunciado es considerado empíricamente significativo si es reducible a un enunciado del lenguaje empírico L_E ”⁷². La inadecuación de esta propuesta, empero, radica en la estipulación conforme a la que el lenguaje científico con sentido es comprensible de forma total –por lo que todos los enunciados científicos pueden ser reducidos a él-; en otras palabras, se parte del supuesto de que es un lenguaje interpretado totalmente, pero aún así los científicos hacen uso de conceptos no interpretados en su totalidad.

La tentativa para salir o superar estos problemas la brinda el propio Carnap. Según esta reformulación, para el enfoque estándar o enfoque de los dos niveles: “El lenguaje de una teoría está conformado por un sublenguaje L_T y un sublenguaje observacional L_O , construidos a partir de un vocabulario puramente teórico V_T –que contiene términos como *electrón*, *energía cinética*, *función ψ de*

⁷² Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 62.

Schrödinger, etc.- y un vocabulario observacional V_O –que fija todos los conceptos de la teoría referidos a las cosas y propiedades observables. Aunque la formación de ambos sublenguajes es independiente, se establecen entre ellos determinados puentes lingüísticos que los vinculan entre sí⁷³. Por tanto, una teoría científica T está conformada por dos clases o tipos de lenguaje, el teórico - L_T, V_T y el observacional - L_O, V_O - que van a estar unidos por determinadas reglas de correspondencia cuyo fin es dar un significado a la teoría, es decir, que reflejen las relaciones que se dan en las leyes de la naturaleza.

Para que este enfoque sea plausible, hay que ahondar más en que la estructura de una teoría científica empírica se compone de un cálculo matemático abstracto y de reglas de interpretación de forma parcial o indirecta de los términos teóricos. Se resalta que los términos teóricos son representaciones simbólicas, esto es, símbolos ininterpretados no susceptibles de comprensión a menos que sean vinculados a términos observacionales que les brinden significado y que la representación de cosas o propiedades vía el lenguaje observacional sea directa y aprobática⁷⁴.

No obstante, de ello se sigue que el lenguaje observacional L_O tiene el carácter de registro especular (isomorfo) de una realidad dada sin ninguna mediación estructuradora. Además de que a la teoría T se la conciba como un cálculo puramente formal que se vincula a L_O de manera convencional. Es decir, que la vinculación es arbitraria, y sin una referencia a las correlaciones empíricas, entre L_T y L_O ⁷⁵. A pesar de esto, el L_O , que es siempre el resultado de un nivel de conceptualización científica, es un lenguaje de representación.

Por dicha razones el enfoque estándar no es un candidato plausible a la luz del enfoque pragmático-representacional para dilucidar de manera concluyente cómo se concibe la representación en la práctica científica. Por otro lado, lo que le va a importar de este enfoque a nuestros autores es la *invariancia relacional*, no el

⁷³ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 66.

⁷⁴ Cfr. Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 67-8.

⁷⁵ Cfr. Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 71-2.

registro especular –isomorfo- porque, como se explicitará más adelante, éste, bajo su consideración, no tiene una función relevante en la actividad científica. Expuesto el enfoque estándar es menester hacer lo propio con el enfoque semanticista.

2.2) Enfoque Semanticista.

El principal exponente del enfoque semanticista o concepción modelística es Bas van Fraassen, para quien la filosofía debe ver a las teorías científicas no como entidades lingüísticas –como el enfoque estándar- sino como entidades fundamentalmente matemáticas. Estas entidades son los modelos. Como resultado de estas consideraciones, una teoría se caracteriza por la familia de sus modelos. Un modelo, en sentido matemático, “es una interpretación abstracta bajo la que se satisfacen los enunciados de una determinada teoría (de la que es modelo)”⁷⁶. Pese a esta caracterización matemática de las teorías científicas, la concepción modelística ve a las teorías empíricas como algo más que una estructura matemática. Ciertas partes de los modelos son candidatos para la representación directa de los fenómenos observables. Estos modelos son las subestructuras empíricas que representan a los fenómenos observables: “Podemos llamar apariencias a las estructuras que pueden describirse en informes experimentales y de medición: la teoría es empíricamente adecuada si tiene algún modelo tal que todas las apariencias son isomórficas con estructuras con estructuras empíricas de ese modelo”⁷⁷. Puede decirse que van Fraassen sostiene que la realidad (los datos) constituye una subestructura de la teoría. A su vez, es factible mencionar que una teoría se compone de cierta clase de sistemas reales M_R contenida en la clase M_T de modelos matemáticos de la teoría. Esta conexión se hace explícita en la definición teórica:

$$M_R \subseteq M_T$$

⁷⁶Para aclarar mejor este punto remito al lector a: Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 77 n. 14.; para que vea el modelo matemático de Patrick Suppes.

⁷⁷ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 75.

Para capturar la idea de representación en este enfoque se tiene que identificar la clase de modelos de la teoría. Para lograr esto hay que fijar nuestra atención en la noción de *espacio de estados*, la cual se construye a partir de los conceptos de simetría, transformación e invariancia. A continuación presentamos algunas precisiones de estos conceptos:

El espacio de estados de un sistema no es un principio sino un conjunto cuyos elementos representan los estados posibles del sistema según la teoría [...] Lo interesante es que, por medio de la estructura del espacio de estados, podemos representar relaciones estructurales entre los diversos estados posibles del sistema, a las que en determinadas circunstancias asignamos una significatividad empírica. Cuanto más rica sea la estructura del espacio de estados, más complejas serán las relaciones que se puedan representar y, en su caso, interpretar empíricamente. La posibilidad de esa interpretación depende justamente de si las representaciones de los datos son invariantes bajo todas las representaciones admisibles. Por consiguiente, uno de los problemas fundamentales en la identificación de una teoría consiste en la determinación de la clase de sus representaciones admisibles.⁷⁸

Esta facultad de determinar la clase de representaciones admisibles es importante porque tiene como trasfondo la noción de razonamiento subrogatorio. Esto es, el razonamiento subrogatorio al permitir el encaje estructural entre sistemas relacionales impone ciertas restricciones para que tanto ese encaje como otros sean admisibles. Lo que implica que se pueda dar una mejor representación entre sistemas relacionales. Así, la noción de espacio de estados es capital para la de razonamiento subrogatorio; van de la mano. Por el momento no nos ocuparemos más de este tema, éste será tratado más adelante.

Retomando la discusión del enfoque semanticista, se concibe que una teoría científica es relevante si es invariante bajo todas las transformaciones de simetrías. Así: “Un enunciado es significativo si y sólo si se refiere a relaciones relevantes”⁷⁹. De igual forma, los grupos de simetrías determinan la trayectoria que la teoría asigna para los procesos del sistema. Para van Fraassen una teoría es empíricamente adecuada bajo la condición de que haya un modelo en el que todos los fenómenos observados sean isomorfos a las subestructuras empíricas

⁷⁸ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 79-80.

⁷⁹ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 81.

de dicho modelo. De modo que las simetrías y transformaciones corresponden al nivel teórico (lo que representa), mientras que las leyes –regularidad, necesidad– se fijan en el nivel de la observación (lo que es representado). Se sigue, pues, que la actividad genuinamente científica corresponde a la vertiente representante de la práctica teórica. Ibarra y Mormann no concuerdan con esto último: “Ahora bien, como se pretende en el concepto que se desarrollará [...] la teorización científica no consiste únicamente en la construcción de un sistema representante, sino en la reflexión sobre la *relación representacional* [...] entre un sistema representado y otro representante”⁸⁰.

Tanto el enfoque estándar como el semanticista ofrecen una imagen estática del concepto de representación, i. e., sólo las construcciones teóricas representan lo observacional, supeditándola a la noción de isomorfía⁸¹. Veremos que la propuesta de representación de Ibarra y Mormann guarda muchas similitudes con esta concepción modelística; en específico con la de espacio de estados y simetría. Su principal diferencia es, reitero, la isomorfía. A diferencia de aquellos enfoques, el contextualista no muestra a la representación como una noción estática. De hecho esta última concepción es relevante para el enfoque pragmático-representacional.

2.3) Enfoque Contextualista.

Para Andoni Ibarra y Thomas Mormann este enfoque representa el punto de partida de la estructura representacional de las teorías empíricas. El principal exponente de la concepción contextualista es el científico y filósofo Henry Margenau, que concibe que en toda teoría científica aparecen dos niveles, a saber: datos y constructos simbólicos. Entre los cuales debe darse una correspondencia permanente y extensiva. Lo anterior se ilustra con el caso de la caída de cuerpos presentado por Margenau:

...observamos la caída de un cuerpo, o muchos cuerpos que caen; tomamos dicho cuerpo bajo custodia mental y lo dotamos con propiedades abstractas expresadas en la ley de

⁸⁰ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 87.

⁸¹ Esta noción será aclarada cuando nos ocupemos en específico de la “Representación como isomorfía”.

gravitación. Ya no es más el cuerpo que hemos percibido originalmente, puesto que hemos añadido propiedades que ni son inmediatamente evidentes ni empíricamente necesarias. Si se duda que estas propiedades se han puesto de manera arbitraria sólo necesitamos recordar el hecho de que existe una teoría física alternativa, igual o incluso más exitosa –la teoría de la relatividad general- que adscribe a los cuerpos típicos el poder de influenciar la métrica del espacio, esto es, con propiedades completamente diferentes a las expresadas en la ley de gravitación de Newton.⁸²

Una buena descripción de lo expresado por Margenau nos la brinda Esperanza Rodríguez, conviene citar *in extenso* para no perder ningún detalle:

Recordemos lo que nos dice la Ley de la Gravitación Universal de Newton: *la fuerza que ejerce una partícula puntual con masa m_1 con masa m_2 es directamente proporcional al producto de las masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa*. Y según las leyes de Newton, toda fuerza ejercida sobre un cuerpo le imprime una aceleración. De este modo tenemos que, siguiendo el ejemplo de Margenau, el cuerpo que cae es la partícula puntual con masa m_1 , y el cual, según las leyes sufre una aceleración. Dicho cuerpo puede ser una piedra cualquiera, pero al tomarla bajo “custodia mental” la equipamos con las propiedades abstractas ‘masa’, ‘aceleración’, ‘fuerza’, etc., y es entonces cuando dicho cuerpo ya no es el mismo. De este modo vemos cómo es que se muestran los dos niveles, el de los *datos* y el de los *constructos simbólicos*, en el nivel de los *datos* encontramos al *cuerpo que cae*, y en el nivel de los *constructos simbólicos* encontramos a la *partícula puntual con masa que sufre una aceleración*.⁸³

De manera que podemos distinguir tres componentes para la caracterización de una teoría empírica: datos, constructos simbólicos y la relación de correspondencia entre ambos. De tal forma que ya es tiempo de esbozar un formato general de una teoría empírica:

(1) Sea D el dominio de datos y C el dominio de constructos simbólicos. Una teoría empírica es una representación $f : D \longrightarrow C$. La aplicación f prueba una

⁸² Henry Margenau, “Methodology of Modern Physics”, *Philosophy of Science* 2, no. 1 (Enero 1935): 57 [mi traducción].

⁸³ Rodríguez, “Representación y ciencia”, 21.

representación del dominio D por el dominio C de constructos simbólicos. Así, la aplicación de representación debe respetar la estructura de D y C ⁸⁴.

Con base en lo dicho, puede desprenderse la consideración de que la esencia de la teoría no está en las cosas de las que habla ni en los conceptos que utiliza, sino en el espacio de la relación representacional entre datos y constructos simbólicos. Debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones en torno a la relación entre datos y constructos:

(i) Relatividad epistemológica. La distinción entre datos y constructos no es absoluta, esto es, en un contexto algunas entidades pueden funcionar como datos y en otro contexto como constructos simbólicos⁸⁵. Dicho de otra manera: si una entidad e corresponde al dominio de datos o al dominio de constructos simbólicos va a depender del contexto. Como aclaración adicional, “dato”, siguiendo a Margenau, no debe ser considerado como “lo dado”, sino como “habita” <<lo que uno tiene a la mano o lo que toma como punto de partida en su investigación>>⁸⁶; porque “lo dado” puede llevarnos a pensar que siempre hace referencia a lo empírico, cuando las teorías científicas no se acotan sólo en este rubro; mientras que “habita” es más flexible porque comprende tanto el aspecto empírico como el teórico. Más adelante cuando veamos el ‘vaivén’ se aclarará mejor este punto.

(ii) Pluralismo simbólico. El dominio de los constructos simbólicos no está determinado de manera única por el dominio de datos: puesto que pueden existir constructos simbólicos rivales, que sean incompatibles entre sí, para los mismos conjuntos de datos. Por ejemplo: en el contexto de la física clásica, el modelo corpuscular de la luz (según el cual está constituida por fotones) y el modelo ondulatorio (según el cual consiste en la propagación del campo electromagnético) son incompatibles. Pero en el marco de la física cuántica, ambos comportamientos

⁸⁴ Cfr. Andoni Ibarra y Thomas Mormann, “Theories as Representations”, *Pozmán Studies in the Philosophy of the Science and the Humanities* 61 (1997): 62.

⁸⁵ Cfr. Ibarra Ibarra y Thomas Mormann, “Structural Analogies between Mathematical and Empirical Theories”, en *The space of Mathematics*, eds. Javier Echeverría, Andoni Ibarra y Thomas Mormann (Berlín: Walter de Gruyter, 1992), 37.

⁸⁶ Cfr. Margenau, “Methodology of Modern Physics”.

de la luz, que parecían contradictorios, se pudieron integrar en un modelo coherente. Esto es, que la luz es onda-partícula⁸⁷.

(iii) Utilidad, economía y precisión. Los constructos simbólicos permiten alcanzar ciertos objetivos, ahí radica su utilidad. En otras palabras, los constructos “presuponen habitualmente las virtudes epistemológicas de la economía y la precisión: una buena teoría es aquella que cubre una amplia variedad de datos con la menor inflación teórica posible”⁸⁸.

(iv) Exceso conceptual. Los constructos simbólicos generan un ‘exceso conceptual’ que puede ser usado para determinar y predecir algunos aspectos previamente inaccesibles de los datos. Por ejemplo, sabemos parcialmente que algunos datos cinéticos están dentro de la estructura de constructos simbólicos como *fuerza*, *hamiltonianos*, *lagrangianos* con el fin de obtener nueva información que sin ellos no la obtendríamos⁸⁹.

(v) Correspondencia. La elucidación precisa de la estructura y la función de la correspondencia entre datos y constructos simbólicos. De esta manera se puede preservar mejor la estructura de ambos dominios para lograr una representación adecuada del objeto de estudio⁹⁰. Más adelante nos ocuparemos de este asunto, para ver qué es lo que entendemos por preservación estructural.

Los puntos (iii) y (iv) pueden ser vistos como lo que ulteriormente Ibarra y Mormann denominarán reducción e inducción de complejidad, lo que evita que puedan verse como contrapuestos. A su vez, los puntos (i) y (ii) se reflejarán en el denominado “vaivén” característico de las teorías científicas, así como en el aspecto combinatorio de las representaciones.

La representación mediante constructos simbólicos tiene una doble función: a) explicativa, significa que se puede utilizar para obtener nueva información acerca

⁸⁷ Cfr. Ibarra y Mormann, “Theories as Representations”, 62-3.

⁸⁸ Thomas Mormann, “El concepto de representación en la tradición neokantiana: de Helmholtz a Cassirer”, en *Variaciones de la representación en la ciencia y la filosofía*, eds. Andoni Ibarra y Thomas Mormann (Barcelona: Ariel, 2000), 76.

⁸⁹ Cfr. Ibarra y Mormann, “Structural Analogies”, 37.

⁹⁰ Cfr. Mormann, “El concepto de representación”, 76.

de los datos o una nueva explicación de ellos; b) exploratoria, significa que se puede utilizar para estimular la investigación conceptual sobre los constructos: “Tanto en (a) como en (b), la representación faculta el encaje de los datos en marcos teóricos explicativos coherentes. De hecho, puede interpretarse que la correspondencia entre datos y constructos simbólicos constituye la base de la explicación teórica”⁹¹.

Dicho lo cual, es plausible aseverar que la actividad científica, ya sea explicativa o predictiva o conceptualmente exploratoria se caracteriza por un movimiento de ‘vaivén’ entre el área de los datos y el área de los constructos simbólicos. Lo cual obliga a replantear el formato general de una teoría empírica (1).

(1.2) Sea D el dominio de datos y C el dominio de constructos simbólicos equipados con una aplicación $f : D \rightarrow C$ y una interpretación simbólica denotada por $s : C \Rightarrow D$. La aplicación f es denominada una representación del dominio D por el dominio C . La interpretación simbólica puede tomarse como un operador que retrotrae las estructuras significativas del dominio conceptual C al dominio de datos D , lo que proporciona interpretaciones empíricas por los conceptos teóricos de la teoría⁹². Una teoría representacional puede ser denotada con este nuevo esquema:

$$(1.2) f : D \rightarrow C, s : C \Rightarrow D$$

$$f \circ s : D \rightarrow C$$

En palabras de nuestros autores: “La representación $f : D \rightarrow C$ se concibe como una aplicación preservadora de estructuras [...] Esto es, D y C se interpretan como sistemas relacionales, en el sentido estándar de la teoría de modelos, es decir, como conjuntos equipados con un conjunto de relaciones. Se asume, además, que la representación f respeta esas relaciones, esto es, se interpreta f como un homomorfismo (parcial)”⁹³. Lo que importan y da origen a la representación es la

⁹¹ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 98.

⁹² Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 98-9.

⁹³ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 100.

preservación estructural f pero también la interpretación s que retrotrae las estructuras significativas de C a D . Así, f y s inducen una especie de círculo dialéctico⁹⁴.

Por tales razones la actividad científica puede ser descrita como una especie de movimiento circular que inicia en el rango de datos, que se traslada al campo de los constructos simbólicos, y que, finalmente, regresa al dominio de datos.

Con la exposición del enfoque contextualista comenzamos a delinear de manera más directa la propuesta representacional de Ibarra y Mormann, ya que elementos tales como: aplicación preservadora de estructuras, interpretación, vaivén, exceso conceptual, economía, etc., van a ser reflejados en ella. Debe advertirse que la noción de isomorfía, vista en las concepciones estándar y semanticista, no va a ser considerada como relevante para el enfoque pragmático-representacional, porque vuelve estática la noción de representación. La representación debe verse como un concepto dinámico, gracias a la concepción de Margenau de 'vaivén'. De igual forma, hay que rescatar de la concepción modelística la noción de espacio de estados (que trae consigo elementos como simetría o invariancia) que a partir de ella se forma un criterio que determina qué representaciones son o no admisibles. Con los enfoques analizados hemos visto qué características, según nuestros autores, son relevantes en la ciencia para conformar una teoría de la representación.

Asimismo, es pertinente aclarar qué entendemos por nociones como isomorfía, homomorfía, sustitución, ya que del escrutinio de estas nociones completaremos nuestra idea de cuál noción tiene una mayor importancia en la ciencia.

3) Conceptos elementales de representación en la ciencia.

Uno de los problemas que surgen en el discurso filosófico acerca de la representación es que es un término con muchos significados. La confusión, en general, se origina porque no se distingue claramente lo que entendemos por "representación" en ciencia. Puede decirse que son cuatro los tipos de

⁹⁴ Cfr. Mormann, "El concepto de representación", 77.

representación identificables en la práctica científica, a saber: isomorfía, homomorfía, sustitución y homología. En esta sección nos ocuparemos de la isomorfía, la homomorfía y la sustitución, reservando el escrutinio de la homología para el siguiente apartado de este capítulo. El objetivo de esta sección es, al estudiar esta clase de representaciones, mostrar algunos elementos que están presentes en la clase de representación homológica. De entrada, podemos aseverar que el mejor candidato, y superación de las otras tres clases, para una teoría de la representación científica es la homología. Conviene aclarar que el criterio en la exposición de cada representación va conforme a su grado de utilidad o relevancia en la ciencia.

3.1) Representación como isomorfía.

La representación como isomorfía, tal como la caracterizan Ibarra y Mormann, no desempeña un papel tan relevante en la práctica científica. La razón es que en esta clase de representación se da una semejanza uno-a-uno entre los dos relatos, es decir, uno es la imagen especular del otro. Si W está representado isomórficamente por M , entonces W y M pueden ser considerados como imágenes especulares entre sí mismos. Copias de mapas, planos, gráficas, etc., son ejemplos comunes de esta clase de representación⁹⁵.

En algunas versiones un poco más desarrolladas de esta clase de representación se constata, sin embargo, su diversidad representacional y su irreductibilidad a la imagen expuesta al principio: “Aún así, postulan la identificabilidad de semejanzas –de tipo estructural o formal respecto a la organización relacional involucrada– entre el dominio representante y el representado”⁹⁶. Dentro de este registro de isomorfía se ha propuesto, por parte de Patrick Suppes⁹⁷, a la geometría analítica de Descartes como una construcción matemática sustentada en esta idea. Para aclarar aún más este punto veamos un ejemplo dado por Esperanza Rodríguez:

⁹⁵ Cfr. Andoni Ibarra y Thomas Mormann, “Interactive Representations”, *Representaciones* 1, no. 1 (Noviembre 2005): 4.

⁹⁶ Andoni Ibarra y Thomas Mormann, “Una teoría combinatoria de las representaciones científicas”, *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía* 32, no. 95 (Agosto 2000): 9.

⁹⁷ Cfr. Patrick Suppes, “Representation Theory and the Analysis of Structure”, *Philosophia Naturalis* 25, (1988): 254-68.

El isomorfismo tiene que ver con la relación de estructura. Una estructura es un conjunto X dotado de ciertas relaciones. Una aplicación $f: X \rightarrow Y$ entre dos conjuntos dotados del mismo tipo de estructura es un *isomorfo* cuando cada elemento de Y proviene de un único elemento de X , y f transforma las relaciones que hay en X en las que hay en Y . Este concepto es muy importante en la representación porque tiene que ver con la preservación de estructuras. Un ejemplo de isomorfismo es: si en el espacio E elegimos una unidad de longitud y tres ejes mutuamente perpendiculares que concurren en un mismo punto, entonces a cada punto del espacio podemos asociarle sus tres coordenadas cartesianas, obteniendo así una aplicación $f: E \rightarrow R^3$ en el conjunto de las sucesiones de tres números reales. Cuando en E consideramos la distancia que define la unidad de longitud fijada y en R^3 consideramos la distancia que define la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la diferencia, f es un isomorfismo.⁹⁸

Comparto la idea de que este concepto es importante en la representación ya que tiene que ver con la preservación estructural. En este sentido, discrepo con Ibarra y Mormann en no conferirle importancia a este tipo de representación. La tiene aunque se la catalogue de estática y especular. Lo digno a rescatar, empero, es la preservación entre los correlatos de la representación. En cierto modo, esta concepción puede verse más como una herramienta útil para la explicación que brinda el representante de lo representado, como se pudo notar con el ejemplo.

3.2) Representación como sustitución.

Este tipo de representación podría decirse que es “la más sencilla”. Un ejemplo claro de sustitución se da cuando representamos entidades empíricas de diverso tipo por medio de números u otras magnitudes matemáticas. Otro caso es “cuando un ejemplar se concibe como representante, esto es, como representación de su especie [...] Este sentido es el preeminente sobre todo en el campo de las ciencias taxonómicas; por ejemplo, en la biología tradicional”⁹⁹. Recordemos que, de cierta manera, ya hemos ahondado en esta concepción, a saber, cuando analizamos la estructura por la que una teoría científica se construye; por ejemplo, en el caso de medición de cualidades. Se vio, claramente, cómo las entidades

⁹⁸ Rodríguez, “Representación y ciencia”, 17 n. 23.

⁹⁹ Andoni Ibarra, “Representación(es)”, en *Representación y ciencia*, coords Mario Casanueva y José Alberto Benítez (México: UAM-Miguel Ángel Porrúa, 2003), 24.

matemáticas representan –como sustitutos- la intensidad de una cualidad de una entidad empírica, a saber: la temperatura que es un símbolo matemático sirve para representar la intensidad de una cualidad llamada calor.

El meollo del asunto es buscar un sustituto adecuado para la representación de una entidad. En términos generales, esto compete en mayor medida al científico o la comunidad científica que busca obtener un conocimiento acerca de un fenómeno del mundo. En suma, este sustituto adecuado para la representación puede guardar o no semejanza objetual con lo representado (como en el caso en que un modelo a escala de un puente guarda semejanza objetual con el puente que pesa miles de toneladas; en cambio, un número no guarda semejanza objetual con cualquier entidad empírica).

3.3) Representación como homomorfía.

Este tipo de representación es concebida como una aplicación preservadora de estructuras. Para ilustrar la clase de representación que es ésta, podemos utilizar la llamada ‘teoría de la medida’ que puede ser entendida como un homomorfismo de preservación estructural entre el dominio de objetos empíricos –lo que será medido- y el dominio de los números reales \mathbb{R} .

La medida¹⁰⁰ como aplicación preservadora parcialmente de estructuras (es parcial porque si conserva todas las estructuras, entonces sería el mismo objeto o su reflejo, lo cual nos remitiría de nuevo a la noción de isomorfía), consiste en hacer que correspondan un número y un objeto a medir, de tal forma que las relaciones empíricas como la longitud, la masa o similares se representen por relaciones numéricas. Este concepto de representación lo podemos describir formalmente –utilizando el esquema (1)- como una aplicación $r: D \rightarrow \mathbb{R}$, tal que r representa una operación de concatenación empírica \otimes mediante la operación numérica de la adición:

$$r(x \otimes y) = r(x) + r(y)$$

¹⁰⁰ El siguiente ejemplo se ha extraído de: Ibarra y Mormann, “Una teoría combinatoria”, 10-12. Sigo plenamente la exposición llevada a cabo por los autores.

Asimismo, esta teoría se puede desarrollar, como mencionan nuestros autores, en el marco de una teoría de aplicaciones $r: (A, R_1, R_2, \dots, R_m) \rightarrow (B, S_1, S_2, \dots, S_n)$ entre sistemas relacionales (A, R_1, \dots, R_m) y (B, S_1, \dots, S_n) en los que A y B son los dominios de la base de los sistemas, mientras que R y S las relaciones en ellos. Así, entre:

$$(A, R) \xrightarrow{r} (B, S)$$

No existe ninguna semejanza directa entre lo representado (A) y el representante (B). Lo que sí puede mencionarse es que hay una semejanza estructural entre ellos (R) y (S).

Por lo que la condición de preservación estructural asegura que una relación asociativa o conmutativa se representa por otra del mismo tipo. Es decir, cuando se representa una relación empírica de orden \leq o una operación empírica de concatenación \otimes por una relación de orden \leq o una operación aritmética $+$ de números reales, ello sólo es posible porque se cumplen ciertas condiciones de “semejanza” estructural, a saber, el requisito de que tanto \leq y \otimes como \leq y $+$ son respectivamente transitivos o asociativos y conmutativos.

Con ello es loable afirmar que hay una semejanza estructural entre el dominio representado y el representante. Esta semejanza es parcial a causa de que pueden fijarse propiedades relacionales para \otimes o para $+$ que carezcan de correspondencia en cualquier otro dominio que no sea el suyo mismo. Esto puede denominarse como homomorfismo parcial.

Tanto la isomorfía como la sustitución y la homomorfía tienen su grado de relevancia en la ciencia. Aunque nuestros filósofos de la ciencia Ibarra y Mormann discrepen con respecto a la isomorfía. Me parece que comparten dos elementos en común, esto es, semejanza y sustitución. La semejanza, va a depender de qué clase, sea objetual o estructural. En cuanto a la sustitución esta noción acompaña a toda concepción de representación. A grandes rasgos estas características espero que hagan más preciso lo que hay que entender por representación

científica. Explicado lo anterior, pasemos al estudio de la representación como homología.

4) El modelo de Representación Científica de Ibarra y Mormann.

El propósito de esta sección es ofrecer un análisis detallado de las características o aspectos más importantes del enfoque pragmático-representacional homológico, tales como: 1) qué se entiende por representación homológica; 2) el aspecto combinatorio o iterativo de las representaciones, y; 3) la dimensión pragmática, concebida desde la semiótica de Peirce. Antes de entrar en la elucidación de estos tres aspectos conviene precisar las tesis que los propios autores del enfoque reconocen como puntos de partida para entender mejor su modelo de representación. En ellos están ínsitos muchos de los aspectos que ya hemos tratado en las secciones anteriores, podría decirse que son una síntesis de ellos. Pues bien, las tesis son¹⁰¹:

1) La representación no es un reflejo especular. Tal como hemos visto esto hace referencia a la isomorfía en la que los correlatos de la representación guardan la misma semejanza uno-a-uno, es decir, son copias uno del otro. La representación es un concepto complejo, como hemos vislumbrado en la segunda sección de este capítulo, que conlleva una especie de movimiento dialéctico –vaivén- entre el rango de datos y constructos simbólicos; lo cual hace dinámico al concepto de representación, a diferencia del isomórfico –enfoque estándar y concepción modelística- en que se presenta como estático. Por tal razón, la representación homológica es la noción más no-isomórfica.

2) La matemática desempeña un papel importante para el soporte de las representaciones científicas, como se hizo patente cuando se expuso la noción de homomorfía (en específico con el ejemplo de la teoría de la medida) en la que la preservación parcial de estructuras, sean asociativas, conmutativas, etc., entre sistemas relacionales A (entidad empírica) y $B(\mathbb{R})$ mostraron que lo relevante es la preservación estructural, a diferencia de la isomorfía aquí ya no se necesita de

¹⁰¹ Estas tesis son presentadas en: Ibarra y Mormann, “Una teoría combinatoria”, 5-6.

una correspondencia uno-a-uno entre ambos sistemas. No obstante, no es el único soporte ya que también se necesita de otro tipo de representación, como las materiales. Las representaciones materiales pueden encontrarse, por ejemplo en el caso de la bioquímica. Más adelante ilustraremos esto.

3) El carácter iterativo de las representaciones. Las representaciones no están aisladas, son sistemas mixtos que combinan representaciones matemáticas con representaciones materiales. Retomando lo dicho al final del punto anterior, esto se hará patente cuando nos ocupemos de un ejemplo de bioquímica, en específico del problema *in vitro/in vivo*. Asimismo, este rasgo iterativo denota lo dinámico del concepto de representación.

4) Las representaciones necesitan ser interpretadas debido a que en sí mismas no son evidentes; gran parte de la actividad científica puede describirse como un continuo interpretar y reinterpretar representaciones. Pueden atisbarse dos cuestiones: para poder interpretar una representación se necesita de un sujeto – individual o colectivo- que la aplique para extraer información relevante del mundo; y, en el fondo, el sujeto tiene un propósito que puede estar supeditado a conveniencias sociales. Es decir, la aplicación de una representación para algún propósito trae aparejado tanto el aspecto pragmático como el aspecto social – como hemos visto en la primera sección, la comunidad científica determina la objetividad de la representación-.

5) Objetivo del razonamiento homológico. “El objetivo básico de las representaciones científicas es el razonamiento subrogatorio o razonamiento homológico. Este razonamiento permite transferir inferencias y resultados obtenidos en el dominio representante a propiedades o relaciones identificadas en el dominio representado. Como la estructura de aquél es más rica que la del dominio representado, el razonamiento subrogatorio permite explorar el rendimiento de las teorías identificables en el dominio representante aplicándolas al dominio representado”¹⁰². Es plausible expresar que mientras analicemos la homología aportaremos más elementos que den luz para esclarecer el concepto

¹⁰² Ibarra y Mormann, “Una teoría combinatoria”, 6.

de razonamiento subrogatorio. No obstante, el razonamiento subrogatorio será un tema que nos mantendrá en vilo en la siguiente sección.

En suma, con estas cinco tesis puede sintetizarse la propuesta representacional de Ibarra y Mormann, ya que en ellas se ven reflejados los aspectos pragmático, social, combinatorio, relación estructural, etc. Con lo que, siguiendo a dichos autores, se da una imagen más cabal de la actividad científica como elaboración, interpretación y reinterpretación de representaciones, cuyo fin es obtener conocimiento del mundo.

4.1) Representación como homología.

A diferencia de la representación como isomorfía, la homología no depende ni de la semejanza objetual ni de la semejanza estructural, es una generalización del concepto de representación concebida como aplicación (parcial) que preserva estructuras. La noción de homología se originó, fundamentalmente, de las ideas de dos científicos y filósofos, Hertz y Duhem. Para ambos la actividad de la ciencia se enfoca en la búsqueda de simetrías. En específico, para Duhem, como ya vimos en el capítulo anterior, las simetrías se establecen entre la parte “real” y la parte “simbólica” de la teoría. En cuanto a Hertz, éste describe el proceso general de las representaciones como sigue, cito *in extenso*:

Nos hacemos imágenes o representaciones aparentes internas o símbolos de los objetos externos, y lo hacemos de tal manera, que las consecuencias intelectualmente necesarias de las representaciones son siempre a su vez representaciones de las consecuencias naturalmente necesarias de los objetos derivados. Con el fin de que esta condición sea satisfecha, debe de existir cierta conformidad entre la naturaleza y nuestro pensamiento. La representación nos enseña que esta condición puede ser satisfecha, y que por tanto dicha conformidad de hecho existe.

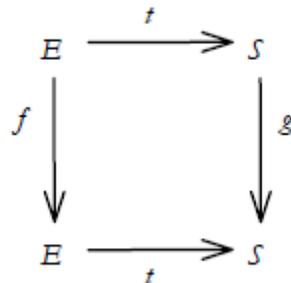
Las representaciones, que podemos formarnos de las cosas, no están determinadas sin ambigüedad por la condición de que las consecuencias de las representaciones deben ser

imágenes de las consecuencias. Varias representaciones del mismo objeto son posibles, y las imágenes pueden diferir en varios aspectos¹⁰³.

Lo expuesto por Hertz nos permite ver que las simetrías se tienen que dar entre “las consecuencias naturalmente necesarias” y “las consecuencias intelectualmente necesarias”. Andoni Ibarra y Thomas Mormann proponen traducir la descripción informal de la actividad representacional dada por Hertz a un lenguaje diagramático, plasmado en el denominado diagrama de Hertz.

4.1.1) Diagrama de Hertz.

Como ya adelantábamos en la sección anterior, el objetivo del diagrama de Hertz es plasmar la idea de simetría que acontece entre la necesidad natural y la intelectual, veamos por qué: sea E el conjunto de los “objetos externos” y S el conjunto de las “representaciones”. Así (2):



El diagrama se explica de esta forma: la flecha horizontal t corresponde a la concepción de Hertz de “formación de imágenes o representaciones”. En concreto, si $e \in E$ es un conjunto externo, $t_{(e)} \in S$ es la representación que le corresponde. Dicho de otro modo $t_{(e)}$ puede ser considerado como la contraparte teórica de e . Por otra parte, la flecha vertical a la izquierda f se concibe como un proceso o un experimento que necesariamente trae consigo el hecho externo o empírico de que e cambia a otro hecho externo o empírico $f_{(e)} \in E$. En términos de Hertz, $f_{(e)}$ es ‘la consecuencia naturalmente necesaria’ de e . Análogamente, la flecha vertical g en

¹⁰³ Heinrich Hertz, *The Principles of Mechanics Presented in a New Form* (New York: Dover, 1956), 1 [mi traducción].

la derecha puede ser interpretada como un cálculo matemático o un argumento lógico que nos lleva desde un símbolo $s \in S$ a otro símbolo $g_{(s)}$. Esto debe ser interpretado como el resultado o la conclusión de una operación simbólica g . En palabras de Hertz, es ‘la consecuencia intelectualmente necesaria’ de s . A su vez, para aclarar mejor la descripción del diagrama es conveniente citar lo que sus propios autores dicen:

Las líneas horizontales representan la “traducción teórica” de los hechos empíricos en su contraparte teórica, por ejemplo, la correlación de algún material químico con alguna de sus fórmulas químicas. Establecer esta correspondencia puede ser totalmente complicado pero permitámonos ignorar la posiblemente larga distancia entre E y S por un momento. La flecha vertical de la izquierda representa la relación de “necesidad natural”, y la flecha vertical a la derecha corresponde a la relación de “necesidad lógica”.¹⁰⁴

Como podemos inferir de la explicación del diagrama por sus propios autores, lo relevante es la simetría que se da entre la ‘necesidad natural’ y la ‘necesidad lógica’; la simetría entre ambas nos sugiere que la representación se da a *distancia*, es decir, que a diferencia de la representación como homomorfía, en la representación homológica se da una *relación indirecta y remota* entre el dominio representante y el dominio representado; es a distancia porque la simetría refleja el paralelismo entre la necesidad natural y la necesidad intelectual, causado por el encaje y preservación estructural. Los elementos del diagrama no son independientes entre sí ya que forman un diagrama conmutativo en el que las representaciones de las consecuencias intelectualmente necesarias siempre son representaciones de las consecuencias naturalmente necesarias. Veamos esta conmutatividad del diagrama de la siguiente manera: hay que asumir que t, f, g tal como los hemos caracterizado, satisfacen la siguiente ley de concatenación:

$$g \circ t = t \circ f$$

Esta ley debe ser interpretada como sigue: si comenzamos con un hecho empírico e , ubicado en la esquina superior izquierda del diagrama (2), éste puede ser simbolizado por su contraparte teórica $t_{(e)}$, y usar a esta contraparte teórica como

¹⁰⁴ Ibarra y Mormann, “Interactive Representations”, 6 [mi traducción].

la entrada para realizar un cálculo lógico que nos lleva a $g \circ t_{(e)}$; así, este resultado es el mismo que haber sometido el hecho empírico e a una transformación experimental f , es decir, llegando a $f_{(e)}$; y traduciendo este hecho experimental $f_{(e)}$ por t resulta finalmente que $t \circ f_{(e)} = g \circ t_{(e)}$. En específico:

Los dos senderos en el diagrama de Hertz son estructuralmente equivalentes, ya que ellos pueden ser considerados como el camino que conduce al único y mismo destino. Como un ejemplo elemental considérese a e como alguna sustancia química que es sometida a un cierto experimento químico f que, decimos, oxida e produciendo como consecuencia otra sustancia química $f_{(e)}$. Para esta operación una teoría química ya ha dado una fórmula $t_{(e)}$ para e , y una transformación teórica $g(t_{(e)})$ de $t_{(e)}$, tal que $t(f_{(e)}) = g(t_{(e)})$. Como ha enfatizado Hertz, dado E pueden haber diferentes “representaciones competidoras” S , S' . La elección entre ellos es una cuestión pragmática de simplicidad y utilidad. Puede suceder que para diferentes propósitos sean apropiadas diferentes representaciones.¹⁰⁵

En suma, las consecuencias intelectualmente necesarias, las operaciones de la teoría, sólo serán significativas si reflejan¹⁰⁶ los procesos empíricos, es decir, las consecuencias naturalmente necesarias. Puede verse que la representación como homología es la correlación entre procesos causales –transformaciones de entidades empíricas- y procesos lógicos –transformaciones de entidades simbólicas-. Puede atisbarse claramente el aspecto de la justificación, puesto que esos dos componentes pueden ser vistos como los procesos causal y lógico que menciona Villoro –vistos en el primer capítulo- como fundamentales para la justificación. Nos ocuparemos más adelante de esta idea.

Por otra parte, como lo mencionan Ibarra y Mormann¹⁰⁷, el complemento del diagrama de Hertz es la concepción de representación de Duhem en que ésta es una correspondencia entre ‘hechos prácticos’ y ‘hechos simbólicos o teóricos’¹⁰⁸. Así, pues, denotamos la clase de los hechos simbólicos o teóricos por S y la clase de los hechos prácticos o empíricos por E . Entonces una teoría T es reconocida como una relación:

¹⁰⁵ Andoni Ibarra y Thomas Mormann, “Scientific Theories as Intervening Representations”, *Theoria* 21, no. 1 (2006): 22. [mi traducción].

¹⁰⁶ No debe entenderse aquí ‘reflejo’ como isomorfía.

¹⁰⁷ Cfr. Ibarra y Mormann, “Scientific Theories”, 24.

¹⁰⁸ Los hechos teóricos se conciben como algo que afirma una sustitución física en términos matemáticos.

$$T \subseteq E \times S$$

Por lo que si $(e, s) \in T$ significa que el hecho empírico e está relacionado al hecho teórico S , o a la inversa. Esta relación es, podría decirse, polivalente: a un simple hecho empírico e puede corresponderle muchos hechos teóricos s , y, viceversa, a un simple s corresponderle una multitud de hechos empíricos e . Esta doble multiplicidad entre hechos empíricos y teóricos es lo que va a permitir dar paso al aspecto combinatorio o iterativo de la representación. Por lo que es conveniente que tratemos este tema.

4.2) Aspecto combinatorio de las representaciones.

La práctica científica es una práctica iterativa, es decir, es una producción de representación de representaciones, y así sucesivamente¹⁰⁹. Lo que significa que éstas tienen la característica en común de que forman una compleja red representacional, esto quiere decir, por ejemplo, que puede haber más de dos representaciones distintas para un mismo fenómeno. Por lo que podemos tener distintos tipos de combinaciones: a) A se puede representar por distintas entidades B, C, D , lo que da lugar a distintas representaciones a partir de una misma fuente: $A \xrightarrow{r} B, A \xrightarrow{s} C, A \xrightarrow{t} D$. A la inversa, b) E puede representar a diversas entidades A, B, C , de ello resulta que $A \rightarrow E, B \rightarrow E, C \rightarrow E$. Puede darse el caso que c) representaciones tal como $A \xrightarrow{r} B$ y $B \xrightarrow{s} C$ puedan iterarse produciendo una representación indirecta o compuesta $A \xrightarrow{s \circ r} C$. Además, d) puede darse el caso que una misma entidad A se represente a sí misma $A \xrightarrow{id} A$: "Este no es un caso degenerado; expresa por ejemplo la posibilidad existente en muchos sistemas jurídicos de que un acusado se defienda a sí mismo ante un tribunal"¹¹⁰.

Con respecto a (c) puede verse claramente el aspecto combinatorio. Debe, por tanto, asumirse que esta combinación o iteración de representaciones es

¹⁰⁹ Cfr. Andoni Ibarra y Thomas Mormann, "El descontento de la filosofía tradicional de la ciencia con el concepto de representación. Réplica a Sergio Martínez", *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía* 33, no. 99 (Diciembre 2001): 103.

¹¹⁰ Ibarra y Mormann, "Una teoría combinatoria", 13.

asociativa; por ejemplo, sean las representaciones f , g y h , puestas en relación, deben cumplir la siguiente ley de Asociatividad:

$$f \cdot (g \cdot h) = (f \cdot g) \cdot h$$

La combinación o iteración de representaciones es un aspecto muy importante porque permite obtener mayor información del objeto de estudio, en palabras de Andoni Ibarra que explican mejor lo anterior: “Una actividad común a muchas prácticas científicas es la utilización simultánea de varias representaciones – producidas, por ejemplo, por distintos microscopios- para tratar de determinar un objeto”¹¹¹. Es decir, cada una de las representaciones f , g y h podrían tomarse como el producto de las observaciones realizadas por un microscopio distinto en cada caso, pero que al cumplir la ley de la Asociatividad nos brindan una determinación más exacta del objeto de estudio.

Asimismo, conviene aclarar que el esquema (1), $f: D \rightarrow C$, no es una representación directa debido a que se necesita de una cadena de representaciones para que un dominio de datos D sea representado por un dominio de constructos simbólicos C . Por tanto, ese esquema es una forma abreviada de $D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow \dots \rightarrow C$.

No obstante, no todas las representaciones son, como lo exhibe el esquema anterior, lineales. La mayoría de las ocasiones son no-lineales¹¹². Pongamos dos ejemplos para ver aún más la importancia del carácter iterativo de las representaciones: 1) En la teoría de la evolución se engloba todo un haz de ramas evolutivas: genética de poblaciones, biogeografía, ecología evolutiva, morfología, embriología, sólo por mencionar algunas; cada una de las cuales se itera de una forma no-lineal para fungir como soporte para la teoría de la evolución. 2) La mecánica clásica comprende un número interrelacionado de teorías como: la mecánica de partículas, la mecánica del sólido rígido, la mecánica de los cuerpos deformables y la mecánica de sólidos y gases. Con esto se muestra que la

¹¹¹ Ibarra, “Representación(es)”, 33.

¹¹² Cfr. Ibarra, “Representación(es)”, 17.

naturaleza de una teoría es múltiple, en breve: las teorías científicas son politeorías.

Para mostrar cómo el diagrama de Hertz posibilita el razonamiento homológico y la iteración de representaciones en un caso concreto, veamos el problema bioquímico denominado *In vivo/In vitro*.

4.2.1) El problema *In vivo / In vitro*.¹¹³

Con la exposición de este problema buscamos mostrar el aspecto combinatorio y homológico de la representación tratados a lo largo de esta sección.

La bioquímica es la disciplina científica que estudia las sustancias y los procesos químicos que ocurren en plantas, animales y microorganismos, es decir en los seres vivos. Un rasgo de la actividad científica de esta disciplina es que es casi imposible presentar un análisis químico de un organismo intacto. Es decir, un análisis bioquímico está típicamente precedido por un proceso de aislación, con el que el organismo de estudio es diseccionado y un componente específico de él es aislado; por lo que, casi toda la evidencia bioquímica se obtiene *in vitro* bajo condiciones experimentalmente artificiales. Sin embargo, los bioquímicos dicen ocuparse de la química de un organismo viviente, *in vivo*. En otras palabras: los bioquímicos no estudian los procesos que ocurren en un organismo vivo –no diseccionado-, rara vez lo hace, por lo que es improbable presentar un análisis químico de un organismo intacto. De manera que casi toda la evidencia bioquímica es obtenida *in vitro*. El problema *In vivo/ In vitro* puede definirse como el modo en que justificamos nuestro conocimiento acerca de los sistemas *in vivo* sobre la base de la evidencia obtenida a través de los sistemas *in vitro*. Asimismo, un concepto clave en la discusión de este problema es el de “artefacto”. Un “artefacto” bioquímico es una reacción química que ocurre entre biomoléculas *in vitro*, pero no *in vivo*. Entonces el problema radica en cómo conectar las

¹¹³ Este problema se ha extraído de: Ibarra y Mormann, “Scientific Theories as Intervening Representations”, 26-32. Sigo plenamente la exposición y descripción ofrecida por dichos autores.

reacciones químicas que ocurren entre biomoléculas *in vitro* con los sistemas *in vivo*, a sabiendas de que dichas reacciones no acontecen en estos últimos.

En términos del diagrama de Hertz podemos describir este problema conectando un sistema *in vivo* S y un sistema *in vitro* S^* . Usualmente estos sistemas están acompañados por lo que puede ser llamado su sistema modelo M y M^* respectivamente. Esto es, para el sistema *in vivo* S hay un modelo teórico M , y para el sistema *in vitro* S^* existe un modelo teórico (modelo computacional) M^* . Naturalmente asumimos que M es una apropiada representación de S , y M^* a su vez es una representación apropiada de S^* . Estos pueden ser explicados por la aseveración de que las representaciones $S \xrightarrow{t} M$ y $S^* \xrightarrow{t} M^*$ tienen cada una el siguiente tipo de diagrama de Hertz*:

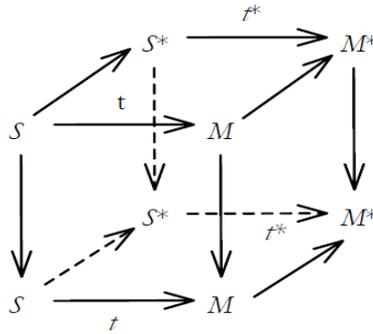


En cada uno de estos diagramas podemos estudiar los varios modos en que los artefactos –entiéndase las reacciones químicas que ocurren a nivel biomolecular– pueden influenciar la fiabilidad del razonamiento homológico que trata con M , S^* y finalmente unirla información obtenida sobre el sistema *in vivo* S .

Para tratar en un modo más comprensivo los problemas de este tipo no es suficiente hacerlo con los dos diagramas de Hertz separados. Por lo que hay que combinarlos para asumir la existencia de un mayor diagrama de Hertz ‘puramente teórico’ para (M, M^*) con el formato de un diagrama cúbico, como este*:

* Fuente: Ibarra y Mormann, “Scientific Theories”, 30, fig. (4.1).

* Fuente: Ibarra y Mormann, “Scientific Theories”, 30, fig. (4.2).



En breve, lo que nos permite resolver el problema, es decir mostrar una adecuada representación de S a partir de S^* , es la relación que se establece entre los modelos M y M^* , porque unen homológicamente los sistemas *in vitro* e *in vivo*. La relación es indirecta ya que una reacción química a nivel biomolecular *in vitro* S^* no se refleja directamente en el sistema *in vivo* S , tendrá que ser representada (t) por su modelo M^* el cual traslada información de S^* al modelo M que representa (t) al sistema *in vivo* S , el cual a su vez traduce a su propio lenguaje para poder relacionarla con S . La simetría, por tanto, entre S y S^* se da gracias a M y M^* . Podría decirse, también, que la “necesidad lógica” se da entre M y M^* , la cual se va a reflejar en la “necesidad natural” de los sistemas S , S^* -*in vivo/ in vitro*. Así, siguiendo a Ibarra y Mormann, se muestra cómo se desarrolla la actividad de la disciplina bioquímica.

Con ello hemos ejemplificado los aspectos tanto combinatorio como homológico del enfoque pragmático-representacional. Todavía falta dilucidar, en concreto, su aspecto pragmático. A continuación nos avocaremos a ello.

4.3) Dimensión pragmática de la representación.

La representación científica como homología es un concepto dinámico en el que la práctica científica puede verse como un “vaivén” –Margenau- entre el dominio de datos D y el de constructos simbólicos C . En específico, en este vaivén se dan dos funciones principales: la representación $f: D \rightarrow C$ del dominio de C -representante- al dominio D -representado-; y la interpretación $s: C \Rightarrow D$ que retrotrae las estructuras significativas de C a D . En lo que nos enfocaremos es en el aspecto de

la interpretación *s*, la cual sólo es dada por el sujeto que usa una determinada teoría. Lo que nos lleva a afirmar que la representación es una noción triádica.

Para aclarar lo anterior nos basaremos en la concepción semiótica de Peirce de la representación, el cual expresa: “Confino la palabra *representación* a la operación de un signo a su *relación con el objeto para el intérprete de la representación*”¹¹⁴. Por tal razón la representación es representación *de algo para* alguien, ilustrado de esta manera: *S usa M para representar W por el propósito P*.

Lo anterior puede ser descrito como sigue: “*S* puede ser tomado como una comunidad científica o parte de ella, esto es el “sujeto” de la representación; *M* puede ser considerado como el modelo, a través del que un aspecto del mundo *W* es representado para ciertos propósitos *P*, por ejemplo, el propósito de predicción o realización técnica”¹¹⁵. El sujeto interpretante debe acotar dinámicamente el significado de la representación –signo–, situándolo en el contexto de otras representaciones –signos–, con el fin de producir una mayor determinación de su objeto de estudio (puede decirse, retomando el ejemplo *in vivo/ in vitro* que los bioquímicos –interpretantes– utilizan los modelos *M* y *M** que representan los sistemas *S* y *S** *-in vivo/ in vitro* respectivamente– para ofrecer una mayor determinación y explicación de los procesos químicos que acaecen en los seres vivos). Con ello se incrementa la información del objeto representado. Por lo que podemos aseverar que el conocimiento científico está íntimamente vinculado a la secuencia progresiva de interpretantes. En suma, podemos decir que además de que la comunidad científica –epistémica– hace la interpretación; también, con ello, le da objetividad al conocimiento, como hemos visto en el primer capítulo, que adquirimos mediante representaciones científicas.

No hay que perder de vista que las representaciones, al surgir dentro de una comunidad epistémica, son construidas para cumplir ciertos propósitos. Es conveniente considerar los propósitos complementarios de las representaciones, a

¹¹⁴ Charles Sanders Peirce, *Collected Papers*, 2 vols. (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1974) 1:540 [mi traducción].

¹¹⁵ Ibarra y Mormann, “Interactive Representations”, 10 [mi traducción].

saber: (i) Reducción de complejidad y (ii) Inducción de complejidad. En estos complementos se verán reflejados algunos aspectos como la economía y utilidad de la representación así como su rasgo característico de sustitución.

4.3.1) Reducción e Inducción de complejidad.

El objetivo de las representaciones es reducir la complejidad superflua, entendiendo por ésta al conjunto de características del objeto que no son relevantes para nuestros propósitos; éstas deben exhibir economía y utilidad para lograr una mejor determinación del objeto estudio. No obstante así como las representaciones sustraen también añaden. Consideremos, pues, los dos propósitos complementarios de las representaciones.

a) Reducción de complejidad.

Las representaciones sirven para reducir la complejidad superflua. Para entender intuitivamente lo anterior, consideremos un ejemplo: cuando buscamos un libro en la biblioteca no es necesario que escudriñemos cada uno de los estantes para hallarlo. Es más fácil recurrir al catálogo electrónico para encontrarlo más rápido. Es decir, la biblioteca está representada por el catálogo electrónico, en tanto que la ficha electrónica representante no contiene información irrelevante para la búsqueda del libro, sino tan sólo aquella requerida para ese fin (por ejemplo; el título del libro, su autor, su clasificación). De modo que la ficha electrónica es el signo representante del libro, no guarda semejanza con lo representado: el catálogo electrónico es un sistema que representa a la biblioteca o, mejor aún, aquellos aspectos de la misma que son relevantes para su usuario¹¹⁶. Otro caso de reducción de complejidad son las representaciones numéricas, en las que entidades empíricas, o de otro tipo, se representan mediante números. Considerando estos ejemplos podemos notar que los objetos representantes funcionan como sustitutos de los objetos representados.

¹¹⁶ Cfr. Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 288-9.

b) Inducción de complejidad.

Lo que complementa un sistema representante es la noción de inducción de complejidad. Siguiendo el método utilizado en el otro caso, veamos un ejemplo para entender intuitivamente este tópico. Por ejemplo, cuando un dominio D de objetos o entidades empíricas va a ser medido por el dominio C de los números reales \mathbb{R} , resulta que el dominio representante tiene una estructura matemática más rica, que no se corresponde directamente con el dominio representado D . Por ejemplo, muchas operaciones aritméticas, como la división o la exponenciación están definidas sólo para los números reales \mathbb{R} , pero no para los miembros del dominio empírico D , es decir, para entidades empíricas. En otras palabras: el lenguaje del dominio representante \mathbb{R} contiene muchos conceptos que no pueden ser directamente traducidos en conceptos o proposiciones del lenguaje del dominio representado D . Sin embargo: “En ningún caso puede interpretarse la nueva complejidad del dominio representante como superflua sino, más bien al contrario, es justamente ella la que faculta de manera esencial para cada representación, la producción de un nuevo saber acerca del dominio representado. Así, en nuestro caso paradigmático de la medida numérica, la compleja estructura matemática del dominio representante de los números reales es utilizada para desarrollar una teoría de la clasificación y aproximación de los objetos empíricos a medir”¹¹⁷. Por ello es importante la elección de un sistema representante con una rica estructura que faculte el poder realizar inferencias relevantes para determinar nuestro objeto de estudio.

En concreto, tanto reducción e inducción de complejidad son características de la representación que se hacen patentes por el papel del sujeto interpretante –son aspectos netamente pragmáticos-.

Podemos inferir, con base en lo dicho, que el verdadero propósito de una representación puede expresarse como la aplicación de la teoría de un sistema representante a un sistema que quiere ser representado. Por tanto, la invención de una apropiada representación puede considerarse, nada menos, que el

¹¹⁷ Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 290-1.

ingrediente esencial para la resolución de un problema intrincado: “puede ser que el proceso de invención de representaciones sea la más alta habilidad intelectual humana”¹¹⁸. Esta habilidad para resolver problemas radica en el razonamiento subrogatorio, el cual, de entrada va a posibilitar la aplicación de un sistema como posible representante de otro. El razonamiento subrogatorio va a imponer las restricciones para saber qué representaciones de un sistema son admisibles y cuáles no. Por lo que es menester ocuparnos de este tema para entender aún más la naturaleza de representación científica.

5) El razonamiento subrogatorio como componente esencial de la Representación Científica.

El razonamiento subrogatorio es el razonamiento que permite trasladar la estructura de un sistema B a otro A para obtener conocimiento de este último; mediante lo cual el intelecto humano logra resolver problemas en distintos campos del conocimiento. Esto puede verse, en específico, en la resolución de problemas de determinado objeto de investigación. En palabras de Andoni Ibarra: “La característica esencial de la representación [...] su rasgo distintivo, es la realización del razonamiento subrogatorio, que faculta la aplicación de la teoría de las ideas de un sistema B en otro sistema A , para poder utilizar el aparato conceptual de B como instrumento de análisis de A ”¹¹⁹. Para esclarecer más este asunto debemos mostrar las características que describen como trabaja este razonamiento. En general, puede decirse que para aclarar estas características tenemos que analizar nociones como preservación estructural, espacio de estados, y resolución de problemas.

5.1) Características del razonamiento subrogatorio.

A continuación se presentan tres aspectos que deben considerarse como característicos de la noción de razonamiento subrogatorio.

¹¹⁸ Ibarra y Mormann, “Theories as Representations”, 80 [mi traducción].

¹¹⁹ Andoni Ibarra, “La naturaleza vicarial de las representaciones”, en *Variadas de la representación en la ciencia y la filosofía*, eds. Andoni Ibarra y Thomas Mormann (Barcelona: Ariel, 2000), 25.

5.1.1) El razonamiento subrogatorio en la resolución de problemas.

Como punto de partida podemos decir que un problema tiene su origen en la incertidumbre. Para resolver un problema debemos eliminar o reducir la incertidumbre, ello nos da una respuesta a él.

Pues bien, el proceso por el que alguien o uno mismo intenta resolver un problema se llama razonamiento. Es pertinente concebir a un 'problema' como un espacio inexplorado de posibilidades, para resolver el misterio hay que preguntarse qué estructura tiene este espacio y qué es lo que reside allí; es decir, para poder aplicar un sistema relacional que lo represente y así encontrar la solución al problema. Precisamente, con base en el razonamiento tenemos que descubrir lo suficiente sobre el espacio de posibilidades para eliminar el misterio. Se sigue que puede caracterizarse al razonamiento como el proceso de exploración de los espacios de posibilidades que nos presenta el problema.

Para resolver un problema frecuentemente lo hacemos con el uso de ayudas externas: "Tales ayudas incluyen cosas como lápiz y papel, calculadoras, computadoras, enunciado, diagramas, modelos físicos, modelos matemáticos [...] Esto es la clase de actividad a la que nos referimos como razonamiento subrogatorio: la exploración de un espacio de posibilidades usando herramientas externas para ese espacio"¹²⁰. Por ejemplo: cuando alguien quiere construir una casa tiene que valerse de algún tipo de 'ayuda' en este caso utiliza planos, modelos físicos, contrata un arquitecto, etc. Como se puede ver, a partir del ejemplo, uno debe elegir cuidadosamente qué clase de objetos funcionan como subrogadores para razonar sobre otros usando algunas convenciones semánticas. Operamos sobre los objetos que utilizamos como representaciones o subrogadores, obtenemos información del objeto subrogado, una vez que hemos trabajado en ellos, debemos, consecuentemente, interpretar esa información para obtener conocimiento del objeto de estudio. La idea es que aquello que nos sirve

¹²⁰ Jon Barwise y Atsushi Shimojima, "Surrogate Reasoning", *Cognitive Studies: Bulletin of Japanese Cognitive Science Society* 2, no. 4 (1995): 2 [mi traducción].

como objeto subrogador nos ayudará a obtener mayor información sobre el otro que fue subrogado. No obstante, en este proceso epistemológico hay restricciones. Es decir, como el espacio de posibilidades lleva a considerar qué procesos son admisibles y cuáles no para resolver un problema. Lo que nos indica *per se* es que a partir de procesos admisibles es plausible obtener inferencias relevantes para la resolución del problema. Podemos hacer inferencias relevantes con base en la preservación estructural entre dos sistemas relacionales. Ocupémonos de esta idea.

5.1.2) El razonamiento subrogatorio como preservación de estructuras.

El razonamiento subrogatorio es el razonamiento estructural en el dominio representante para obtener conclusiones de interés en el dominio representado. Con este razonamiento es plausible caracterizar a las teorías científicas como aplicaciones preservadoras de estructuras, a partir de las cuales vemos las simetrías entre las necesidades causales y las necesidades lógicas como resultado de la correlación de ambos sistemas. Dicho de otra manera: permite transferir inferencias y resultados obtenidos en el dominio representante a propiedades o relaciones identificadas en el dominio representado; esto se explica debido a que la estructura del sistema representante es más rica que la del representado. De ahí que el razonamiento posibilita potenciar el rendimiento de las teorías identificables en el dominio representado. Para aclarar lo esbozado conviene explicar lo que vamos a entender por la relación estructural entre sistemas. Una vez llevado a cabo lo anterior, presentaré un caso en el que se muestra que el razonamiento subrogatorio, como aplicación preservadora de estructuras, posibilita obtener inferencias relevantes entre sistemas relacionales.

-Sistemas relacionales¹²¹

Para definir un sistema relación considérese lo siguiente: Sea A un conjunto no vacío y R_1, \dots, R_n relaciones en A . Un sistema relacional es el $(n+1)$ -tuplo $(A, R_1,$

¹²¹ A partir de aquí y hasta el primero de los ejemplos seguimos la explicación de sistemas relacionales presentada en: Ibarra y Mormann, *Representaciones en la ciencia*, 108-9.

\dots, R_n), en el que k_1, \dots, k_n -arias. Llamamos tipo del sistema relacional al n -tuplo (k_1, \dots, k_n) . Dicho lo cual, la definición de una aplicación parcial entre dos sistemas relacionales es: Sean $\mathcal{A} = (A, R_1, \dots, R_n)$, $\mathcal{B} = (B, S_1, \dots, S_n)$ dos sistemas relacionales y (k_1, \dots, k_n) el tipo de ambas. Una aplicación $f: A \rightarrow B$ es homomorfismo parcial entre \mathcal{A} y \mathcal{B} si y sólo si para $i = 1, 2, \dots, n$, acontece que $[f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_{k_i})] \in S_i \Rightarrow a_1, a_2, \dots, a_{k_i} \in R_i$.

La explicación de lo anterior, siguiendo a Ibarra y Mormann, es: si una sucesión de elementos de B se encuentra en algunas de las relaciones definidas en B , entonces sus correspondientes por f estarán en la relación correspondiente en A . Así, pues, f es un homomorfismo si preserva todas las relaciones. Se dice entonces que f brinda una representación \mathcal{B} del sistema \mathcal{A} o, simplemente, que \mathcal{A} está representado por \mathcal{B} . Conforme a lo cual, el homomorfismo asegura que los hechos $f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_{k_i})$ del sistema \mathcal{B} sirvan para representar sistemáticamente los hechos a_1, a_2, \dots, a_{k_i} de \mathcal{A} , esto es, que podemos inferir éstos de aquéllos si se cumplen ciertas condiciones. Como lo especifican ambos autores, f está definido en todo el conjunto A ; basta con que, para cada uno de los elemento a_i de A que tienen representantes en B , se cumpla $[f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_{k_i})] \in S_i \Rightarrow a_1, a_2, \dots, a_{k_i} \in R_i$. De este modo, es posible establecer que para cada a_i de A se dé su correspondiente representante en la serie $f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_{k_i})$. No se puede tomar a f como una relación uno-a-uno (como un isomorfismo), ya que pueden haber distintos a_i de A a los que les corresponde el mismo representante en B .

Una vez que hemos explícita la definición de sistema relación y aplicación preservadora de estructuras, veamos cómo se desarrolla el razonamiento subrogatorio en el siguiente ejemplo:

-Reducción de los números naturales a conjuntos.¹²²

Con este caso queremos mostrar la importancia de la reducción como razonamiento subrogatorio. El ejemplo versa así: con el fin de mostrar la reducción de los números naturales a conjuntos como una preservación estructural basada en el razonamiento subrogatorio, se tienen que tratar a los números como “el sistema relacional de los números naturales” $\mathcal{N} = (\mathbb{N}, s, <, \wedge)$, donde \mathbb{N} es el conjunto de los números naturales, s y $<$ son la función ‘sucesor’ y la relación ‘menor que’, respectivamente, \wedge es el encaje de identidad, y el sistema, aclara Swoyer, se debe comportar conforme a los postulados de Peano. Asimismo, Swoyer comenta que representa el sistema \mathcal{N} en conjuntos a la manera de von Neumann, aunque, apunta, las siguientes consideraciones pueden mantenerse si utilizamos alguna alternativa como la de Zermelo¹²³. Por lo que consideramos al “sistema relacional von Neumann” como una cuadrúpla ordenada $V = (V, \sigma, \in, \wedge)$, donde V es un conjunto no-vacío (la clase von Neumann), σ es una función de V a V tal que para toda x en V , $\sigma(x) = x \cup \{\emptyset\}$, \in es la relación de pertenencia al conjunto, y \wedge es el encaje de identidad. Podemos axiomatizar V en teoría de conjuntos, usando el axioma de infinidad para garantizar que existe al menos un conjunto inductivo (uno que contiene \emptyset y cerrado bajo σ), entonces singularizar V como el conjunto más pequeño de este tipo (esto es un subconjunto de cada conjunto inductivo). Así, V contiene todas y cada una de las clases von Neumann, $\emptyset, \{\emptyset\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}, \{\emptyset, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\},$ etc., y están ordenadas por \in .

Ahora podemos probar una representación estructural de N en V vía una función c que identifica la relación $<$ con \in , la relación funcional s con σ , y los individuos 0 con \emptyset , 1 con $\{\emptyset\}$, etc., (más adelante específico, $c(0) = \emptyset$ y $c(s(n)) = \sigma(c(n))$). Es posible entonces probar el teorema de representación mostrando que c es un homomorfismo en que todas las relaciones en N son preservadas y contra-preservadas; esto es, para cada número natural m y n en \mathbb{N} : (A) $m < n$ sólo es el

¹²² Este ejemplo se encuentra en: Chris Swoyer, “Structural Representation and Surrogate Reasoning”, *Synthese* 87, no. 3 (Junio 1991): 478-9. Seguimos plenamente la explicación dada por dicho autor.

¹²³ La diferencia entre ambas alternativas radica en que Zermelo identificaba al 2 con el conjunto $\{\{\emptyset\}\}$, mientras que von Neumann lo denota como $\{\emptyset, \{\emptyset\}\}$.

caso si $c(m) \in c(n)$ y (B) $c(s(n)) = \sigma(c(n))$. Esta similaridad de estructura justifica nuestro actuar como si los números naturales fueran conjuntos cuando razonamos sobre ellos. Con ello hemos visto, por ejemplo, cómo la estructura de la teoría de conjuntos nos permite saber un poco más acerca de la naturaleza de los números naturales. Por ejemplo, trasladándolo a la notación usada por Ibarra y Mormann, podemos ver el porqué de su seriación: $[f(\emptyset), f(\{\emptyset\}), f(\{\emptyset, \{\emptyset\}\}), \dots, f(a_{ki})] \in V \Rightarrow 0, 1, 2, \dots, a_k, \in \mathbb{N}$. La representación es posible por la preservación estructural exhibida por el carácter asociativo y conmutativo de ambos sistemas, lo que a su vez permite mostrar y justificar el orden de la seriación de los números naturales.

Con lo expuesto hasta ahora esperamos que se haya entendido, intuitivamente, por qué gracias a la preservación estructural se obtienen inferencias relevantes entre dos sistemas relacionales, en el que uno busca determinar al otro. Análogamente, la aplicación de un sistema relacional B para explicar a otro A trae aparejada la idea de representación admisible o inadmisible – no cualquier sistema X va a representar adecuadamente a otro-. Para entender mejor este punto, es necesario que analicemos la noción de *Espacio de estados*.

5.1.3) Espacio de estados.¹²⁴

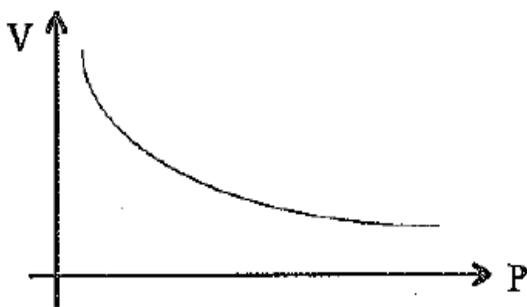
Para que una entidad subrogadora sirva como una representación adecuada de otra, es necesario que ésta muestre los procesos admisibles del espacio de posibilidades o estados en los que puede representarla. Para tratar de esclarecer mejor este punto debemos partir de la noción de *sistema*.

De inicio tomamos el concepto de sistema como primitivo. Ejemplos de sistemas, como refieren Ibarra y Mormann, son dados por sistemas mecánicos o termodinámicos tales como partículas, proyectiles, péndulos, planetas, gases, líquidos. Inclusive entidades tan extensas como galaxias pueden ser consideradas como sistemas, el universo mismo puede ser considerado como el mayor sistema posible. Generalmente un sistema es una entidad del mundo tomado como el

¹²⁴ Este apartado está basado en: Ibarra y Mormann, "Theories as Representations", 71-4. Por lo cual nos ceñimos enteramente a lo expresado en dicho artículo.

objeto de nuestra investigación. Los sistemas pueden denotarse como $S, S',$ etc. Análogamente, se asume que los sistemas pueden estar en diferentes estados. Así; un átomo considerado como un sistema bajo la teoría cuántica, puede estar o no en estado de agitación. Por lo que hay que estipular una clase de estados posibles para un sistema S . Esta clase de estados posibles depende de una teoría T y es denotada por $\Sigma(S, T)$; esto es lo que se llama espacio de estados de S , con respecto a una determinada teoría T . Para aclarar mejor lo anterior veamos el caso siguiente:

Sea S un sistema termodinámico que se caracteriza por sólo dos cantidades: volumen y presión. De modo que, como primera aproximación del espacio de estados $\Sigma(S)$ del sistema S , uno puede tomar un plano euclidiano de dos dimensiones E^2 teniendo una base ortogonal que consiste en los vectores V (volumen) y P (presión). Puesto que el volumen y la presión negativa no existen, sólo el primer cuadrante de E^2 representa posiblemente los estados 'realmente admisibles' de s . Si asumimos lo que las leyes ideales de los gases¹²⁵, el producto $S(v) \cdot S(p)$ debe ser el mismo para todos los estados posibles de S . Por tanto, la multiplicidad de estados posibles de s es la hipérbola definida por la ecuación:



Dependiendo de lo que la ecuación presente, diferentes espacios de estados para S pueden ser considerados. En cualquier caso, el primer paso para entender

¹²⁵ Las cuales son: 1) Para una masa de gas dada a una temperatura constante, el volumen del gas varía de manera inversamente proporcional a la presión absoluta que recibe; 2) Para una masa de gas dada a presión constante, el volumen del gas varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta; 3) Para una masa de gas dada a un volumen constante, la presión absoluta del gas varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta.

teóricamente el comportamiento de cualquier sistema empírico S consiste en delimitar un apropiado espacio de estados $\Sigma(S)$. En otras palabras, un sistema S entra al campo teórico sólo si es representado por un adecuado espacio de estados. Ahora bien, el término “espacio”, aclaran nuestros autores, no es simplemente un conjunto sino es un conjunto *dotado con alguna estructura geométrica*. Dicha estructura es utilizada para diferenciar entre lo que realmente es posible o imposible de los estados del sistema. Puede considerarse como la tarea primordial de la teoría distinguir lo posible (admisible) y lo imposible (inadmisible). Asimismo, lo que posibilita la distinción entre lo admisible e inadmisible es el razonamiento subrogatorio, ya que éste al ser utilizado para extraer información relevante del objeto de análisis va a determinar conforme al encaje estructural qué procesos son o no admisibles.

6) Observaciones finales.

El objetivo de este capítulo fue dilucidar la propuesta *pragmático-representacional* de Ibarra y Mormann para: (i) mostrar que a través de la representación científica se obtiene conocimiento relevante del mundo, y: (ii) estudiar la importancia del razonamiento subrogatorio como característica esencial de la representación científica.

Respecto a (i) podemos decir que obtenemos conocimiento relevante del mundo gracias a que al aplicar la estructura de un sistema relacional que funge como representante de otro, el sistema representado, logramos captar las simetrías que se dan entre la necesidad lógica que dicta la teoría –sistema representante- y la necesidad natural –la relación causal- que se da entre procesos fenoménicos que acontecen en el mundo. Lo cual permite explicar y predecir la ocurrencia de un fenómeno. Entonces, lo que facilita obtener conocimiento del mundo es ver cómo se dan las simetrías entre representante y representado. La representación es una actividad en la que se busca la preservación estructural entre sistemas relacionales para ver las simetrías resultantes y así obtener conocimiento del objeto de estudio. Puesto de manera formal:

$$e_1 \leq_e e_2 \Rightarrow t(e_1) \leq_t t(e_2)^{126}$$

Donde la relación \leq_e se interpreta como un tipo de relación causal tal que $e_1 \leq_e e_2$ se traduzca como “el hecho empírico e_1 produce el hecho empírico e_2 ”. Correlativamente, la relación teórica $t(e_1) \leq_t t(e_2)$ significa “la descripción teórica $t(e_1)$ de e_1 , implica la descripción teórica $t(e_2)$ ”. Asimismo, \Rightarrow denota la relación de simetría, entre la necesidad lógica y la necesidad causal.

Por otra parte, dada una teoría, no sólo tenemos representaciones teóricas $t(e)$ de hechos empíricos e , también tenemos interpretaciones o predicciones teóricas. Con ello tenemos un tipo de interacción entre E (empírico) y T (teoría), esta relación es la que describe Margenau como vaivén. Esto es, dada una predicción teórica x , tenemos que saber lo que puede contar como su contraparte empírica $e(x)$. Por ejemplo, aplicando el aparato conceptual de nuestra teoría T , podemos realizar cierta predicciones. El fin de estas predicciones es que tengan relevancia al constatarse en lo empírico; es decir, que sí correspondan con el mundo.

Por su parte, en cuanto a (ii) la importancia del razonamiento subrogatorio radica en determinar cuál es un buen candidato para representar una determinada entidad vía preservación estructural para mostrar la simetría entre las consecuencias lógicas del sistema relacional B –la teoría- y las consecuencias causales del sistema relacional A –fenómenos-. Por su naturaleza el razonamiento subrogatorio es *per se* el mecanismo que utilizamos para resolver problemas. Podemos decir que (i) y (ii) van de la mano, esto es, reformulando lo dicho anteriormente: obtenemos conocimiento relevante del mundo cuando mostramos la relación de simetría entre dos sistemas relacionales, esta simetría sólo se obtiene utilizando el razonamiento subrogatorio porque posibilita la adecuada elección de un sistema para aplicar su estructura al espacio inexplorado en la formulación y resolución de un problema. Asimismo, el espacio de estados, como consecuencia de aplicar el razonamiento subrogatorio, nos va a permitir ver qué representaciones son admisibles para obtener conocimiento de nuestro objeto de

¹²⁶ Ibarra y Mormann, “Interactive Representations”, 12.

investigación. En síntesis, obtenemos conocimiento relevante del mundo si aplicamos o utilizamos el razonamiento subrogatorio.

En suma, el enfoque *pragmático-representacional* propuesto por Ibarra y Mormann es plausible porque conjuga el aspecto pragmático y el aspecto del encaje estructural. El concepto de representación científica es dinámico, no estático, es así en tanto que: un sujeto –individual o comunitario- representa a determinada entidad con un propósito; de igual manera, el vaivén que se da entre los dominios representante y representado nos muestra dicho dinamismo. En cuanto al aspecto social del enfoque, no hay que perder de vista que la comunidad científica determina la objetividad de la representación cuando ve que las simetrías se dan. Por otro lado, esta teoría de la representación puede verse como una superación del enfoque semanticista y positivista de la ciencia debido a que, al parecer, brinda una adecuada caracterización de la actividad de una comunidad científica; es decir, entendiendo por actividad científica la creación y uso de representaciones para obtener conocimiento de determinados objetos de investigación. Así, con lo expuesto en este capítulo hemos dado luz en la elucidación de la relación entre conocimiento y representación científica. No obstante, antes de ir directamente al análisis de esa relación, es pertinente utilizar la representación homológica para explicar de manera más detallada los fenómenos de la refracción y reflexión de la luz para probar la viabilidad del enfoque *pragmático-representacional*.

IV

Razonamiento subrogatorio en la teoría óptica: reflexión y refracción de la luz.

El objetivo de este capítulo es utilizar el modelo de representación científica de Ibarra y Mormann para mostrar el encaje estructural y las simetrías que se producen en el estudio de algunos fenómenos ópticos, como la reflexión y refracción de la luz, bajo la explicación de una teoría óptica. La teoría óptica sobre la que trabajaremos, en su gran mayoría, es la *Óptica Geométrica*, porque nos permite ver claramente el encaje estructural y las simetrías de aplicar un sistema relacional para explicar otro.

Este capítulo es, pues, un corolario del modelo representacional defendido en el capítulo anterior para hacer patente cómo obtenemos conocimiento a partir de una teoría científica. En éste nos avocamos a mostrar el “espacio de estados” de la teoría, el encaje estructural –posibilitado por el razonamiento subrogatorio- entre los sistemas relacionales inmiscuidos en la teoría, así como su carácter iterativo, para ver las simetrías que se producen.

En pocas palabras, utilizamos el enfoque pragmático-representacional para analizar cómo es que una teoría óptica nos brinda conocimiento de los fenómenos de su campo de estudio. Es decir, cómo la representación científica nos brinda conocimiento de los fenómenos que acontecen en el mundo. Asimismo, habrá que aclarar que suponemos, en principio, que el lector está familiarizado con los principios sobre los que se basa la óptica.

1) Representación científica de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.

Comenzamos el análisis, con base en el enfoque pragmático-representacional, de los fenómenos ópticos de reflexión y refracción de la luz¹²⁷ vía *óptica geométrica* para ver la viabilidad de dicho enfoque.

Como punto de partida afirmamos que las representaciones geométricas de la reflexión y refracción de la luz nos permiten “deducir de manera *cuasi a priori* las leyes fundamentales de la óptica elemental”¹²⁸ las cuales están plasmadas en el Principio de Fermat¹²⁹ –un rayo que pasa del punto A a otro B sigue la trayectoria de tiempo más corta- y la Ley de Snell¹³⁰ –que es la relación entre los ángulos de incidencia y refracción dada por la igualdad de los productos de los índices de refracción por los senos de los ángulos-. Con estos dos principios fundamentales ya es posible comenzar a delimitar el *espacio de estados* de la teoría. Por ejemplo: sea $\Sigma(S,T)$ el *espacio de estados* de la teoría óptica, si tomamos a n –índice de refracción- como sistema, entonces la teoría va a prohibir que aquél tenga un valor menor a 1 porque, de lo contrario, se estaría afirmando que la luz en un medio con índice $n < 0$ viaja más rápido que en el vacío, es decir, va a una velocidad mayor a 300 000 km/s, lo cual es imposible; esto está basado en la Ley de Snell. De manera análoga, considerando el Principio de Fermat, el rayo de luz que parte del punto A para llegar al punto B, aunque atravesase distintos medios con índices de refracción distintos, siempre va a recorrer el camino más corto para llegar en el menor tiempo posible. Dicho de otra manera, el *espacio de estados* de la teoría va a mostrar dicho caso como siempre admisible porque, vamos a decirlo de este modo, es la forma en la que la luz se comporta al viajar. Con estas simples consideraciones, vemos cómo a partir de dos principio podemos atisbar el *espacio*

¹²⁷ Si el lector desea profundizar en estos tópicos, véase: Ana María Cetto, *La luz en la naturaleza y en el laboratorio* (México: FCE, 1996) disponible: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1ml/ciencia2/32/html/laluz.ht>

¹²⁸ Ibarra y Mormann, *Representaciones en el ciencia*, 197.

¹²⁹ Cfr. Emilio Gómez González, *Guía básica de conceptos de óptica geométrica* (Sevilla: EST-Universidad de Sevilla, 2005), 6-7.

¹³⁰ Cfr. Gómez, *Guía básica*, 7-8.

de estados de la óptica elemental. De igual manera, la elección del sistema representante es primordial para explicitar dicho *espacio de estados*. Al elegir la estructura geométrica como subrogadora de este tipo de fenómenos se hace patente cómo operan sus leyes fundamentales como la de Snell o Fermat; así como qué representaciones son admisibles o no para la teoría.

En el caso de la óptica elemental la geometría euclídea, la trigonometría, etc., representan de manera adecuada el dominio de los fenómenos ópticos como se ha podido hacer patente mediante los casos 1 y 2 de la sección anterior. En otras palabras: se da un encaje estructura entre el dominio de datos –fenómenos ópticos- y el dominio de constructos simbólicos –geometría y enunciados que componen la teoría-. Este encaje no sería posible sin el razonamiento subrogatorio, ya que gracias a éste la estructura del sistema relacional G –geometría- se conserva y explica la estructura del sistema relacional A –fenómenos ópticos-: $f: A \rightarrow G$. Un caso simple de conservación de estructura radica en la noción de línea recta, entendida como la distancia más corta entre dos puntos, cuando es utilizada para representar al rayo a través de su camino óptico de un punto a otro, porque la luz siempre va a seguir el camino más corto para llegar en el menor tiempo posible de un lugar a otro.

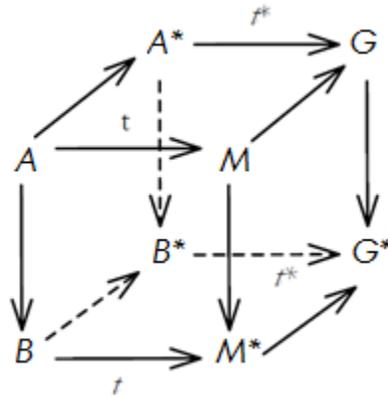
Por otro lado, en cuanto al aspecto iterativo o combinatorio de la representación podemos ver que los fenómenos de la reflexión y refracción son representados por un sistema relacional, en este caso la geometría. Lo que presenta una forma como: $f: Rl \rightarrow G$ y $g: R \rightarrow G$, dando como resultado $f \circ g: Rl/R \rightarrow G$, donde Rl es el fenómeno de reflexión y R el fenómeno de refracción, G es la geometría y f y g son las respectivas representaciones de ambos fenómenos; que al estar concatenados van a conformar la *Óptica geométrica*. Sin embargo, este tipo de óptica no es la única teoría que da cuenta de los fenómenos ópticos, también lo hace la denominada *Óptica matricial*.

La *Óptica matricial* va a tratar los fenómenos ópticos con base en el empleo de matrices de la forma: $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$ en la que, dependiendo del problema, se va a tomar

en cuenta la distancia que recorre el rayo o el producto de la diferencia de los índices de refracción o la igualdad del producto de los senos de los ángulos; claro que depende sobre qué tipo de superficie incide el rayo, es decir, plano o esférica. Con ello vemos otra manera de representar los fenómenos ópticos –A- mediante otro sistema relacional –matrices- M , como se nota en este esquema: $f: A \rightarrow M$.

Si retomamos los esquemas de representación geométrica y matricial de los fenómenos ópticos podemos formar el siguiente esquema: $f: A \rightarrow G \times M$, que denota, básicamente, que tanto G como M , en conjunto o separados, representan la amplia variedad de los fenómenos ópticos. Asimismo, la elección entre una representación y otra es una cuestión pragmática, recae en el usuario de la teoría. Es decir, el usuario va a elegir con qué tipo de representación estudiar el fenómeno de su interés, esto es, cuál es el apropiado para sus propósitos. Es decir, el científico trae una carga teórica con la cual va a resolver un problema. Por ejemplo, no es lo mismo resolver un caso de refracción de la luz cuando los objetos involucrados son los rayos del Sol que inciden en la Tierra, que uno que se ocupe de un láser que viaja por el aire e incide en el agua. Para el primer caso conviene utilizar la óptica matricial; mientras que para el segundo lo más común es utilizar la óptica geométrica.

Un ejemplo concreto en que vemos plasmado todo lo antedicho se encuentra en el caso de la luz que viaja a través de una fibra de vidrio o fibra óptica. En éste la luz que es emitida desde una fuente A tiene que viajar, en el menor tiempo posible, a través de dicho medio, para llegar al punto B . Se tiene que tomar en cuenta, como ya se ha podido ver, el Principio de Fermat y la Ley de Snell, para saber cuál va a ser el camino óptico que siga el rayo o rayos en ese medio con índice $n > 1$. Para describir el camino podemos utilizar tanto la geometría o las matrices, o ambas, como se ve en la siguiente imagen:



La explicación es: la trayectoria que la luz sigue de un punto A a otro B puede ser descrita o explicada por su contraparte teórica M o G. Así se determina una posibilidad que es ante-concebida en el espacio de estados De manera análoga, G puede representar a M o M a G, puesto que los resultados obtenidos en ambos dominios tienen que concordar con la trayectoria del rayo; todos los caminos llevan al mismo destino. Asimismo, el diagrama al mostrar el adecuado encaje estructural entre los dominios también muestra las simetrías entre lo que dicta la teoría –necesidad lógica- y lo que acontece –necesidad natural- en dicho fenómeno. Así, si la teoría predice el camino óptico que un rayo de luz tiene que recorrer para llegar en el menor tiempo de un punto a otro, entonces tiene que darse el caso que se cumpla el fenómeno predicho.

En síntesis, tanto la ley de Snell, el Principio de Fermat, las leyes de los espejos planos, etc., van a conformar la teoría óptica. Ésta puede ser abordada desde el campo de la geometría o las matrices. Para ello, el científico tuvo que trasladar la estructura de un sistema relacional B –geometría- para estudiar el fenómeno de su interés –reflexión o refracción de la luz-; con ello, vemos la realización del razonamiento subrogatorio en este encaje estructural. Una vez que aplica el sistema representante al representado logramos obtener mayor conocimiento de este último porque nos describe y nos predice la ocurrencia de dichos fenómenos; así nos damos cuenta de las simetrías entre ambos sistemas. Para comprobar que nuestra representación es adecuada y darle valor a la teoría nos restaría hacer el experimento para demostrar que nuestros cálculos describen o predicen la

ocurrencia de dichos fenómenos. Vemos que todo lo dicho es el movimiento de 'vaivén' del que habíamos hablado en el capítulo tercero. Es decir, trasladamos la estructura de un sistema para conformar los constructos simbólicos a partir de los datos obtenidos en la observación; una vez que hemos realizado esto interpretamos los resultados que obtenemos de la operación de los constructos simbólicos para interpretar el fenómeno que habíamos captado inicialmente en la observación.

En suma, el enfoque pragmático-representacional de Ibarra y Mormann nos muestra cómo es que se da el encaje estructural para encontrar las simetrías entre los fenómenos ópticos y las teorías que se ocupan de ellos, que pueden sintetizarse con el nombre de *Óptica*. Lo cual nos permite explicar y predecir el camino óptico que recorre un rayo a través de determinado(s) medio(s) para llegar a cierto punto. Lo que a su vez nos posibilita tener "creencias verdaderas y justificadas por razones objetivamente suficientes" de dichos fenómenos, que van a conformar los enunciados de la teoría óptica. El conocimiento que nos brinda la teoría óptica puede verse concretizado en el caso de la fibra óptica al reemplazar los cables de cobre por los que nos llega la energía eléctrica. Con lo que el conocimiento que nos brinda el estudio de la óptica se ve reflejado en los avances tecnológicos, algunos de los cuales son: las operaciones con láser en los ojos, los lentes para corregir problemas de visión, la mejora de telescopios o microscopios, etc. Vayamos a la conclusión general de esta investigación.

Conclusiones

El análisis llevado a cabo del modelo representacional de Ibarra y Mormann nos ha permitido atisbar de manera más profunda la relación entre ‘conocimiento’ y ‘representación científica’; de igual modo, muestra que ésta es un medio por el cual obtenemos y justificamos nuestro conocimiento. Son tres las nociones que nos ayudan a explicar dicha relación, a saber: preservación estructural, simetría y condensación. Conviene, pues, explicar la aseveración anterior.

En el capítulo I hemos definido como “creencia justificada por razones objetivamente suficientes” al ‘conocimiento’. Así, para sustentar que una creencia está justificada tienen que mostrarse cuáles son las razones que la hacen de esa manera y, por ende, la convierten en saber. La creencia que es justificada por determinado número de razones tiene que ser consecuencia lógica de éstas. Por ende, nuestra noción de ‘conocimiento’ está apoyada en la de ‘consecuencia lógica’. De ahí que es plausible decir que justificamos cuando descubrimos que ésta es consecuencia lógica de un conjunto de razones; de igual manera, la consecuencia lógica da objetividad a nuestro conocimiento. Otro elemento que le brinda objetividad a nuestro conocimiento es la comunidad epistémica, ya que las razones que aduzco para sustentar un saber tienen que ser compartibles por cualquier miembro de ella. Asimismo, con este capítulo comenzamos a satisfacer el objetivo principal al elucidar lo que entendemos por conocimiento. Una manera de comprobar lo anterior es analizando uno de los campos a través del cual el ser humano genera conocimiento, en este caso la ‘ciencia’.

La *ciencia* nos brinda conocimiento mediante teorías científicas. En el capítulo II hemos elucidado la estructura de la teoría física, las características que en ella se encontraron las hemos extrapolado, en general, para cualquier teoría que se declare científica. Naturalmente, va a variar el grado en que se desarrollen algunos elementos de la estructura de una teoría a otra. Por ejemplo, algunas teorías tendrán un mayor desarrollo matemático que otras o mayores posibilidades de constatar lo que predicen con la experiencia. En general son cuatro los pasos que constituyen y construyen la estructura de una teoría de esta índole: i) la

definición y medida de magnitudes, ii) la elección de hipótesis, iii) el desarrollo matemático, y iv) la experimentación o constatación. Todo ello va a permitir, siguiendo a Duhem, caracterizar a la teoría como un conjunto de proposiciones que conforman una unidad lógica. Como resultado, las deducciones que se hagan tomando en cuenta los principios o proposiciones fundamentales de la teoría tienen que ser consecuencia lógica de ellas. De lo contrario, la teoría sería un conjunto de proposiciones inconexas que no guardan una unidad entre sí, incapaces, en muchos casos, de poder explicar o predecir la ocurrencia de un fenómeno.

Asimismo, la elucidación de la estructura de la teoría permite observar los dos niveles de representación inherentes a ella. Son dos los niveles: a) la condensación de hechos en leyes y b) la condensación de leyes para conformar la teoría. De modo que la teoría es un todo constituido lógicamente de representaciones. Con ello comenzamos a dar cuenta de un objetivo secundario, a saber: mostrar cómo se obtiene conocimiento a partir de una teoría científica. No obstante, surge la cuestión acerca de ¿qué es lo que posibilita el enlace entre los distintos componentes de la estructura de una teoría científica? Es decir, para que se haga patente por qué una teoría nos brinda conocimiento del mundo. Dicho de otra manera: ¿cómo se conforman las razones objetivamente suficientes que validan un conocimiento? Es con el estudio de la representación como homología como intentamos resolver o responder esta cuestión.

Antes de ocuparnos, propiamente, de la noción de representación como homología, que es el fundamento del enfoque *pragmático-representacional*, en los primeros apartados del capítulo III tuvimos que dilucidar el marco teórico en el que surge dicha noción con el fin de mostrar por qué es una opción viable para dar cuenta de manera comprensiva de la actividad científica y sus aspectos epistemológicos. Hay que aclarar que aunque la homología es una *superación* de otro tipo de representaciones, ésta no niega al tipo homomórfico; más bien lo comprende. Esto porque si no hay, en primer lugar, preservación estructural

entre el sistema representante y el representado es difícil que se produzcan simetrías.

Toda vez que hemos notado lo anterior tenemos que ocuparnos de elucidar las características del enfoque *pragmático-representacional* para ver cómo se conforman las razones que justifican y validan un conocimiento, en este caso, científico.

En general, el enfoque propuesto por Ibarra y Mormann se ocupa de tres aspectos de la representación: i) su aspecto homológico, ii) su carácter iterativo y iii) su dimensión pragmática. Con estos aspectos se trata a la ciencia de una manera comprensiva para mostrar su carácter netamente representacional; de manera análoga, no desatiende el rubro social e intencional que connota toda actividad científica.

En cuanto a su aspecto pragmático tiene que tenerse en cuenta que la representación siempre es *para algo*, es decir, conlleva la intención, el propósito, de quien la utiliza; sea un sujeto o toda una comunidad epistémica.

Con respecto a su aspecto combinatorio es claro que cualquier teoría científica es una *politeoría* puesto que lleva en sí misma toda una concatenación de representaciones. Asimismo, una entidad puede ser representada por una multiplicidad de teorías o, a la inversa, una teoría puede representar a una amplia gama de entidades; siempre y cuando haya una preservación estructural entre entidad representada y constructo simbólico representante.

Retomando y ampliando la discusión en torno a la representación como homología, ésta implica el empalme entre las ‘consecuencias intelectualmente necesarias’ que dicta la teoría –entendida como unidad lógica- y las ‘consecuencias naturalmente necesarias’ –hechos o procesos empíricos-. En pocas palabras, conlleva la simetría entre la relación lógica –teoría- y la relación causal -hechos-. Esto no sería posible si no se da un encaje estructural –homomorfismo- entre el representante y el representado. Por ende, la simetría muestra las consecuencias lógicas que se desprenden del encaje estructural para

que se vean reflejadas en los procesos causales. Si, como explicitamos en el primer capítulo, la justificación es un proceso tanto causal como lógico para sustentar una creencia, que a la postre se erija como conocimiento, entonces cuando mostramos las simetrías entre representante y representado, en el fondo hablamos de por qué al relacionarse ambos dominios obtenemos conocimiento y las razones que implícitamente sustentan a éste. Es decir, las simetrías hacen patente el que nuestro conocimiento sea válido.

Por su parte, el encaje estructural entre el dominio representado y el representante va a conformar las razones que justifican que una teoría nos brinde conocimiento. Es inútil tratar de justificar una teoría científica sin hacer mención de la preservación estructural. Ésta se hizo patente en el capítulo IV –y no sólo allí-, donde la representación geométrica de los fenómenos ópticos allí tratados permite describir y predecir la trayectoria de un rayo a través de distintos medios de propagación así como su interacción con distintas superficies –planos, esféricas, etc.-; lo cual permite aplicar esos conocimientos para impulsar el avance tecnológico; por ejemplo, mejorar los instrumentos y procedimientos médicos en la cirugía ocular, o mejorar el nivel de precisión y de alcance de un telescopio, entre otras cosas.

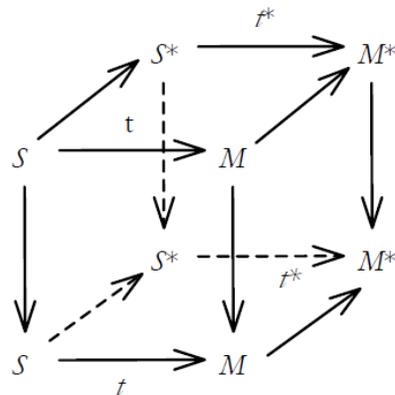
Regresando al tema del encaje estructural éste es posibilitado por el razonamiento subrogatorio. Este tipo de razonamiento nos ayuda a determinar qué entidad es un buen candidato para representar a otra y así obtener conocimiento de ella. Es decir, permite subrogar una entidad por otra para conocer un poco más acerca de la naturaleza de esta última. Sin razonamiento subrogatorio no sería posible representar y si no nos es dado esto, entonces no conoceríamos muchas cosas en distintos campos de investigación científica. De manera que el componente esencial para la representación científica es el razonamiento subrogatorio. No obstante, aún con lo dicho en el tercer capítulo acerca de este razonamiento, no se ha agotado, ni mucho menos, su estudio; por lo que se deja para futuras investigaciones el estudio exclusivo de este tópico.

Por otro lado, un rasgo que no se ha mencionado, hasta ahora en esta conclusión, es que hay dos niveles en los que se percibe el encaje estructural, a saber: (a) de Datos a Constructos simbólicos y (b) de Constructos simbólicos a Datos; este proceso es de vaivén. Ambos niveles describen el proceso de definición de magnitudes para conformar leyes (a), las cuales tienen que ser contrastadas en la experimentación (b); con ello, la teoría se va a ir depurando para ser más precisa en sus descripciones y predicciones.

Con base en lo dicho, es loable aseverar que obtenemos conocimiento gracias a la aplicación de la estructura de un sistema relacional que funge como representante de otro, el sistema representado, logrando captar las simetrías que se dan entre la necesidad lógica que dicta la teoría y la necesidad natural que se da entre los procesos fenoménicos que acontecen en el mundo. Esta simetría sólo se obtiene utilizando el razonamiento subrogatorio –con lo cual mostrarnos que éste es un componente fundamental de la representación científica- porque posibilita la adecuada elección de un sistema para aplicar su estructura al espacio inexplorado en la formulación y resolución de un problema.

En breve, la noción de preservación estructural nos remite a las razones para justificar un conocimiento, mientras que la noción de simetría las convierte en ‘objetivamente suficientes’ puesto que se basa en la relación entre necesidad lógica y necesidad causal. Cuando es válido un conocimiento es porque se da la simetría y cuando se investiga más a fondo la causa de ello tiene que salir a la luz el adecuado encaje estructural entre los sistemas relacionales de la representación, es decir, las razones. Todo esto da como resultado el poder condensar los hechos a leyes y de éstas para conformar la teoría. Por ello, el objetivo de la condensación es que la teoría tenga unidad lógica, la conserve, para que las inferencias que se hagan a partir de los principios y las leyes puedan explicar o, en el mejor de los casos, predecir la ocurrencia de un fenómeno. Así, las teorías científicas nos brindan conocimiento de los fenómenos de su campo de estudio. Las teorías científicas son representaciones porque preservan la estructura, muestran las simetrías y condensan los resultados de estas

operaciones en un todo lógicamente constituido que nos brinda conocimiento de aspectos del mundo. Por tales razones, el cubo:



Es un diagrama de justificación y validez epistémica que denotan las simetrías entre los procesos causales (las flechas verticales que van de S a S^* y de S^* a S) y los procesos lógicos (las flechas verticales que van de M a M^* y de M^* a M) que tienen su génesis en encajes estructurales (las flechas verticales que van de S a M o de S^* a M^*); cuyos resultados se van a condensar en leyes para que éstas a su vez, condensadas, conformen la teoría que nos explica el porqué de determinados fenómenos.

En conclusión, a la pregunta ¿cuál es la relación entre conocimiento y representación científica? Se puede contestar que la relación es de validez y justificación. Justificación porque con la preservación estructural conforme las razones que van a sustentar una proposición científica. Validez porque una vez hecho el encaje estructural se dan las simetrías que verifican o prueban que aquél es adecuado y así mostrar que la necesidad lógica que dicta la teoría se ve reflejada en la necesidad natural de los hechos o procesos empíricos. Cuando justificamos, en el fondo, estamos mostrando en qué se basa un conocimiento, así como damos luz acerca de cuál es su origen. En resumen, el enfoque *pragmático-representacional* nos ayuda a comprender cómo se justifica y se valida el conocimiento, en este caso, científico. Consecuentemente, nuestra hipótesis – expresada en la introducción- es factible porque el estudio de la representación científica nos ha permitido ver cómo obtenemos y justificamos un conocimiento;

por consiguiente, se ha tratado de demostrar que existe una teoría de la representación científica a través de la cual podemos analizar adecuadamente las teorías científicas y ver sus aspectos epistemológicos. Esta teoría es la de Ibarra y Mormann.

Me parece que una teoría de la representación científica tiene que ahondar más y tener en cuenta, tal como la propuesta de Ibarra y Mormann, las nociones de: razonamiento subrogatorio, preservación estructural, simetría y condensación. La teoría que logre desarrollar aún más estas nociones es un candidato viable, como lo es el modelo representacional defendido, para erigirse como una teoría de la representación científica que dé cuenta de los aspectos epistemológicos, metodológicos, prácticos, etc., de la ciencia en su desarrollo, es decir, en su devenir histórico. Por supuesto que conforme se vaya modificando la actividad científica también lo hará la noción de representación.

Por otro lado, hay filósofos para quienes el modelo representacional defendido no es del todo *correcto* para dar cuenta de la noción de representación científica; es decir, tiene muchas críticas. Entre los filósofos que están en contra del modelo defendido se encuentran Mauricio Suárez¹³¹ y Roman Frigg¹³². Para ellos muchas características inherentes a la noción de representación sostenida son *incorrectas* o *mal aplicadas*; por ejemplo, la noción de homomorfía. Será tarea para una investigación ulterior tratar este asunto de las críticas en torno a nuestra noción y averiguar qué tan válidas son; para ello tendremos que dilucidar las propuestas de Suárez y Frigg, y algunas otras más. Aún faltan muchos caminos por los que transitar.

¹³¹ Véase: Mauricio Suárez, "An inferential conception of Scientific Representation", *Philosophy of Science*, no. 71 (Diciembre 2004): 767-779.; y: Mauricio Suárez, "Scientific representation: Against Similarity and Isomorphism", *International Studies in the Philosophy of Science* 17, no. 13 (2003): 225-44.

¹³² Véase: Roman Frigg, "Models and Representation: Why Structures are not Enough.", en *Measurement in Physics and Economics Project Discussion Paper Series* (Londres: London School Economics, 2002), 1-42 ; y: Roman Frigg, "Scientific Representation and the Semantic View of Theories", *Theoria* 21, no. 1 (2006): 49-65.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

- Barwise, Jon y Shimojima, Atsushi, "Surrogate Reasoning". *Cognitive Studies: Bulletin of Japanese Cognitive Science Society* 2, no. 4 (1995): 1-27.
- Braun, Eliezer. *Una faceta desconocida de Einstein*. México: SEP-FCE, 1986.
- Cetto, Ana María. *La luz en la naturaleza y en el laboratorio* (México: FCE, 1996).
Disponible en:
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/32/html/laluz.html>
- Duhem, Pierre. *La teoría física: su objeto y su estructura*. Traducido por María Pons Irazzábal. Barcelona: Herder, 2003.
- García Olvera, Francisco, "Anthropos: El misterio del hombre", en *Cuadernos de investigación* 16. México: UNAM-ENEP ACATLÁN, 1997.
- Gómez González, Emilio. *Guía básica de conceptos de óptica geométrica*. Sevilla: EST-Universidad de Sevilla, 2005.
- Hertz, Heinrich. *The Principles of Mechanics Presented in a New Form*. New York: Dover, 1956.
- Ibarra, Andoni. "La naturaleza vicarial de las representaciones". En *Variedades de la representación en la ciencia y la filosofía*, editado por Andoni Ibarra y Thomas Mormann. Barcelona: Ariel, 2000.
- ."Representacion(es)". En *Representación y ciencia*, coordinado por Mario Casanueva y José Alberto Benítez. México: UAM-Miguel Ángel Porrúa, 2003.
- Ibarra, Andoni y Mormann Thomas. "Structural Analogies between Mathematical and Empirical Theories". En *The space of Mathematics*, editado por Javier Echeverría, Andoni Ibarra y Thomas Mormann. Berlín: Walter de Gruyter, 1992.
- , "Theories as Representations". *Pozmán Studies in the Philosophy of the Science and the Humanities* 61 (1997a): 59-87.

- . *Representaciones en la ciencia: De la invariancia estructural a la significatividad pragmática*. Barcelona: Ediciones del Bronce, 1997b.
- , "Una teoría combinatoria de las representaciones científicas". *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía* 32, no. 95 (Agosto 2000): 3-45.
- , "El descontento de la filosofía tradicional de la ciencia con el concepto de representación. Réplica a Sergio Martínez". *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía* 33, no. 99 (Diciembre 2001): 97-107.
- , "Interactive Representations". *Representaciones* 1, no. 1 (Noviembre 2005): 1-20.
- , "Scientific Theories as Intervening Representations". *Theoria* 21, no. 1 (2006): 21-38.
- Margenau, Henry, "Methodology of Modern Physics". *Philosophy of Science* 2, no. 1 (Enero 1935): 48-72.
- Mormann, Thomas. "El concepto de representación en la tradición neokantiana: de Helmholtz a Cassirer". En *Variedades de la representación en la ciencia y la filosofía*, editado por Andoni Ibarra y Thomas Mormann. Barcelona: Ariel, 2000.
- Peirce, Charles Sanders. *Collected Papers*, 2 vols. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1974.
- Rodríguez Zaragoza, Esperanza. "Representación y ciencia". Tesis de Licenciatura., UNAM, 2007.
- Swoyer, Chris, "Structural Representation and Surrogative Reasoning". *Synthese* 87, no. 3 (Junio 1991): 449-508.
- Villoro, Luis, "Sobre justificación y verdad: respuesta a León Olivé". *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía* 22, no. 65 (Agosto 1990): 73-92.
- . *Creer, saber, conocer*. México: Siglo XXI, 2011.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

-Frigg, Roman. "Models and Representation: Why Structures are not enough". En *Measurement Physics and Economics Project Discussion Paper Series*. Londres: London School of Economics, 2002.

-----, "Scientific Representation and the Semantic View of Theories". *Theoria* 21, no. 1 (2006): 49-65.

-Olivé, León. "Representaciones, producción de conocimiento y normatividad: un enfoque naturalizado". En *Normas y Prácticas en la Ciencia*, compilado por Miguel Esteban y Sergio F. Martínez. México: UNAM-IIF, 2008.

.-Pitt, David. "Mental Representation". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (invierno 2012 [citado el 4 de noviembre 2013]) editado por Edward N. Zalta disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/mental-representation/>

-Steup, Matthias. "Epistemology". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (invierno 2012 [citado el 5 de noviembre 2013]) editado por Edward N. Zalta: disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/epistemology/>

-Suárez Mauricio, "Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism". *International Studies in the Philosophy of Science*, no. 71 (2003): 225-244.

-----, "An Inferential Conception of Scientific Representation". *Philosophy of Science*, no. 71(Diciembre 2004): 767-779.

-Suppes, Patrick, "Representation Theory and the Analysis of Structure". *Philosophia Naturalis* 25 (1988): 254-268.

-Van Fraassen, Bas. *La imagen científica*. Traducido por Sergio F. Martínez. México: Paidós-UNAM-IIF, 1996.