



Universidad de Chile
Facultad de Filosofía y Humanidades
Departamento de Filosofía

**RAZONAMIENTO MEDIANTE MODELOS MENTALES Y
CREATIVIDAD CIENTÍFICA:
COMPARACIÓN E INTEGRACIÓN DE LAS VISIONES DE MODELOS DE
NERSESSIAN Y MORGAN Y MORRISON**

Tesina para optar al grado de Licenciado en Filosofía

Jorge Jara Didier
Profesor Guía: Guido Vallejos Oportot
Santiago de Chile, Chile
2015

Contenido

1. Introducción	3
2. Conceptos preliminares	5
2.1. Modelos: breve descripción	5
2.2. Antecedentes preliminares de la analogía en los modelos	7
2.3. Antecedentes a la conceptualización de los modelos mentales: Peirce y Wittgenstein	11
2.4. Inicios del trabajo sobre modelos mentales: Kenneth Craik.....	14
2.5. Visión semántica y sintáctica de las teorías.....	17
2.6. Formato y emplazamiento de los modelos mentales	20
2.7. Síntesis de los conceptos preliminares.....	26
3. Desarrollo	28
3.1. Modelos mentales como marco de trabajo	28
3.2. Estructura conceptual e infraestructura cognitiva de los modelos.....	31
3.2.1. Introducción a la visión analógica de Nersessian	32
3.2.2. Formato de estructuras representacionales desde Nersessian	33
3.2.3. Símbolos, conceptos y su formato representacional	35
3.2.4. La iconicidad de los modelos mentales	36
3.2.5. Hipótesis del continuo	38
3.2.6. Acoplamiento de representaciones internas y externas	40
3.2.7. Introducción a la construcción de modelos de Morgan y Morrison	41
3.2.8. Estructura conceptual de Morgan y Morrison	43
3.2.9. Síntesis de sección	45
3.3. Esquema de composición y construcción de modelos mentales	47
3.3.1. Recuperación de conceptos.....	49
3.3.2. Abstracción	51
3.3.3. Construcción, mapeo y transferencia.....	54
3.3.4. Evaluación y adaptación	57
3.4. Aplicación y aprendizaje de los modelos mentales.....	61
3.4.1. Dimensiones de aprendizaje y aplicación de modelos	63
3.4.2. Aprendizaje mediante modelos dinámicos	68
3.5. Síntesis	72
4. Conclusiones	74
Bibliografía.....	79

1. Introducción

Esta tesis fue escrita en una asignatura orientada al estudio de la creación de hipótesis en las ciencias desde un prisma cognitivista. Durante el transcurso del estudio, quedó presente que, si bien existe trabajo relacionado con el descubrimiento en las ciencias, este se instala en torno a argumentos como el razonamiento abductivo de Peirce y a contextos como el del historicismo kuhniano. De acuerdo a esta última clase de perspectivas, se explica la formulación de nuevas ideas en la ciencia de forma histórica, pero este desarrollo es inconexo con las conceptualizaciones anteriores. Visiones como la historicista no abordan satisfactoriamente el descubrimiento cuando los elementos que se buscan iluminar para incorporarlos al corpus de saber científico están parcialmente clarificados o cuando llanamente no se tiene una idea de la extensión del desconocimiento del asunto.

En el ambiente de la filosofía de las ciencias cognitivas, la actividad de creación centrada en la construcción de modelos entrega luces al respecto. Sin embargo, pareciera ser que aún está inconcluso el esfuerzo del dominio multidisciplinario de la filosofía de las ciencias cognitivas por despejar el enigma de la operación de la mente durante el trabajo por acceder a aspectos no cartografiados del mundo y de sus fenómenos.

Dentro del marco del estudio de la formación de ideas nuevas, los modos del proceder del razonamiento científico reciben bastante atención en la filosofía de las ciencias, dada la relevancia social atribuida al conocimiento y al valor productivo que este genera a través de la innovación científica. En este contexto, resulta intrigante el nacimiento de conceptos nuevos, la generación de ideas que actúan como luces en el seno de las formas del mundo indeterminadas y desconocidas.

Este trabajo se orienta a explorar el proceso en el que se desenvuelve el descubrimiento de los fenómenos del mundo, enfatizando en el punto de vista psicológico; cómo adquirimos conocimiento sobre un mundo que desconocemos. El interés específico de este texto es entender la configuración de las ideas desde las

cuales interpretamos el mundo con un prisma científico, acercándonos a la *búsqueda de la formación de los modelos mentales y su rol como herramientas para el descubrimiento científico*. Para este fin se analizarán dos perspectivas que abordan la creación y funcionamiento de los modelos: los trabajos realizados por Mary Morgan y Margaret Morrison en *Models as Mediators* y, más recientemente, el trabajo de Nancy Nersessian en *Creating Scientific Concepts*. A partir de estas visiones, y como objetivo principal de esta tesis, se analizará la complementariedad de ambos puntos de vista en torno a la comprensión de la creación de modelos mentales.

La suposición inicial es que estas visiones son altamente compatibles y que, por lo tanto, pueden integrarse para otorgar una perspectiva más integral sobre a la creatividad conceptual. De ser así, pueden contribuir a dar un paso para conformar una teoría de más amplio alcance respecto a la configuración de las ideas y el nacimiento de los conceptos en el pensamiento del hombre. Un objetivo paralelo es facilitar esta complementariedad a través de una esquematización que permita entender con mayor claridad los contenidos expresados por las autoras en estos textos.

Para satisfacer estos fines, se realizará una breve explicación de algunos conceptos fundamentales para entender la forma de conceptualizar de los modelos mentales por las autoras mencionadas, para después explicar más acuciosamente la estructura de los modelos, tanto en su creación y configuración, como en su aplicación con fines de aprendizaje.

2. Conceptos preliminares

2.1. Modelos: breve descripción

El uso de modelos como herramientas científicas tiene una historia extensa, pero aún no se ha gestado una propuesta de teoría integral y definitiva de modelos, donde se especifique su rol como mecanismos epistémicos y la relación que estos tienen con las teorías. Esto dificulta contar con una definición de modelo que sea plenamente satisfactoria para la comunidad filosófica. El punto de vista comprendido en los textos de Nancy Nersessian, por una parte, y de Mary Morgan junto con Margaret Morrison, por otra, se desarrolla en el capítulo 3, con el propósito de entender sus visiones sobre la creación y configuración de modelos mentales y la formación de ideas nuevas en la ciencia. Sin embargo, aún resta un camino largo antes de llegar a ese capítulo, de modo que es conveniente iniciar este trabajo introduciendo un concepto tentativo de lo referido por "modelo" y por "modelo mental". Se solicita al lector tener paciencia con las referencias que debiesen apuntarse en esta sección: el propósito es solo ilustrar como aproximación inicial las características de los modelos y no hacer una explicación rigurosa de tales nociones.

A muy grandes rasgos, un *modelo* es una estructura o conjunto de estructuras que actúan como representación de uno o más aspectos de algo del mundo. La discusión filosófica a la cual están adscritas Nersessian y Morgan y Morrison sostiene, ya sea explícita o implícitamente, que los objetos representados por los modelos tienden a aglomerarse en dos grandes conjuntos en el contexto científico. El primer conjunto es el de *teorías científicas*; la relación entre estas teorías y los modelos es un tema aún en discusión y su resolución es importante en el desarrollo de ideas de Morgan y Morrison. Puede observarse esfuerzos orientados a zanjar este debate en la visión semántica y sintáctica de las teorías, abordada en la sección 2.5. La tradición indica que una teoría tiene la característica de ser sumamente general y estar aislada de los fenómenos del mundo, ya que no tiene aplicación sobre ellos, mientras que los modelos científicos poseen la facultad

de manipular datos del mundo¹ y de incorporar aspectos de estas teorías. De este modo, se establece un vínculo entre teoría y modelo a nivel de funcionamiento: una parte sustancial de la aplicación de las teorías sobre el mundo se deriva de esta conexión.

El segundo conjunto son los *fenómenos*, que son cosas del mundo sobre las cuales deseamos aprender mediante datos que se pueden extrapolar de ellos. Algunos fenómenos pueden ser conocidos y estar comprendidos en el ámbito de explicación de alguna teoría, como puede también que sean parcial o totalmente desconocidos. En estas últimas dos circunstancias se verá que los modelos juegan un rol importante. Una maqueta de una doble hélice de ADN, un diagrama de flujo circular de la economía y un péndulo tienen en común que son modelos.

Se podrá apreciar que algunos de los modelos mencionados no operan en un medio físico, como el péndulo, sino que se desempeñan a nivel mental, como el diagrama de flujo circular de la economía. No solo eso, también podrá apreciarse que algunos modelos se representan de formas distintas: mientras un modelo del flujo circular de la economía suele representarse como un diagrama que expresan una abstracción del movimiento del dinero a cambio de bienes y servicios dentro de un sistema económico, la maqueta de la doble hélice de ADN suele mostrarse de forma más visual, retratando los pares de bases que se visualizan como los puentes en la doble hélice de modo de ilustrar la relación y conexiones físicas de las mismas. Estas diferencias en los modelos conducen a pensarlos como representaciones compuestas por abstracciones arbitrarias (lenguaje, números), denominadas *representaciones proposicionales*, y aquellas de características más sensoriales (profundidad, volumen, color, forma), que reciben el nombre de *representaciones*

¹ Durante el proceso de redacción de esta tesina mi pareja me hizo notar que el uso de manipular que se hace en este texto es ambiguo, que se presta para entenderlo como subversión o tergiversación intencional. La intención del uso del término aquí apunta a describir la manipulación de modelos como la transformación de algo tal como si se usaran las manos, una transformación caracterizada por ser un proceso que requiere tiempo y atención. Cualquier otra alternativa, "utilizar", por dar un ejemplo, carece de la connotación de trabajo prolongado, deliberado y atento que la metáfora de las manos trae consigo y transfiere al proceso de elaboración de modelos mentales.

icónicas. Esta última distinción y sus aspectos más finos son relevantes para entender el modo en el que se manipulan las ideas, lo cual se detalla en la sección 2.6, dedicada a introducir el formato de los modelos mentales.

A partir de los ejemplos de los modelos que indicamos anteriormente, se podrá apreciar que es necesario que un modelo, para ser modelo de algo, tenga propiedades en común con el fenómeno o teoría que se está modelando, es decir: debe existir algún grado de *semejanza* entre el modelo y lo modelado, lo que implica un grado parcial o total de *isomorfismo* en algún nivel². Esos puntos en común trazan un puente entre los razonamientos y el mundo y son los que comunican información respecto al fenómeno. Es por esto que la *analogía* juega un rol determinante dentro del desarrollo de los modelos: la deficiencia de una analogía implica una deficiencia en el modelo. Por este motivo, el rol de la analogía y como se expresa en la creación de modelos se desarrolla a lo largo de esta tesis. En consideración de esto, para favorecer una lectura más lúcida, revisaremos algunos de sus conceptos básicos.

2.2. Antecedentes preliminares de la analogía en los modelos

La actividad más importante en el desarrollo de los modelos es el proceso analógico que se lleva a cabo durante su creación. Para representar de forma correcta un fenómeno u objeto, es importante que exista algún grado de semejanza entre el objeto representado y la idea que se constituye como una representación. El proceso en el que se desarrolla la semejanza entre objeto y modelo es la *analogía*. La analogía no se presenta de forma binaria (analogía/no-analogía), sino

² Un isomorfismo total es posible solo con algo que posee no más ni menos que todos los atributos de ese algo, una copia idéntica en todo nivel. Difícilmente sería útil una representación de un algo que sea una copia idéntica en todos sus aspectos: lo importante es que sea idéntica, por ejemplo, en todos sus aspectos visuales, sistémicos, formales o estructurales. La última clase de ejemplos, los aspectos estructurales, son los más relevantes a esta tesina.

que más bien es una graduación de semejanza entre elementos diferentes, llegando a su forma más plena en el *isomorfismo*, con dos elementos idénticos.

La visión tradicional de la disciplina considera a la analogía como un proceso que se puede reducir a tres etapas: la *recuperación* de conceptos de un *dominio fuente*, donde se busca y se registra los atributos de aquello que se va a analogar, se define cuáles atributos de un *dominio meta* son analogables con algún aspecto del dominio fuente en el proceso de *mapeo*³, y finalmente se proyecta la información desde el dominio fuente al dominio meta en el proceso de *transferencia*. Al desarrollar este proceso, se obtiene una analogía, la cual plasma claramente cuáles son los aspectos en común de un fenómeno con otro.

Las autoras resaltan la taxonomía que propone Mary Hesse (1966) como esclarecedora de las razones por las cuales las analogías entregan información productiva para elaborar modelos. El estudio de Hesse especifica las diferentes clases de relaciones entre aspectos de la representación que se pueden dar en el marco de una analogía. La *analogía positiva* corresponde a los puntos en común que toman los elementos. Un ejemplo de analogía positiva es la comparación de la Tierra y la Luna, donde ambas son cuerpos celestes de gran tamaño, sólidos, opacos y cuasiesféricos. La *analogía negativa* corresponde a los puntos que no tienen un atributo que se pueda asociar en la otra representación analogada, las diferencias entre lo comparado. Así, retomando el ejemplo, la Luna carece de atmósfera y de agua y es más pequeña que la Tierra y que la Tierra está habitada por pequeños organismos, a diferencia de la Luna. El tercer tipo de analogías, la *analogía neutra*, es el tipo más fructífero de distinción de acuerdo a Hesse. Corresponde a los elementos que el investigador ignora si han de encuadrarse dentro de un marco analógico positivo o negativo, lo cual puede ser útil para descubrir nuevos aspectos de los elementos analogados. El trabajo analógico con modelos como instrumentos creativos en la ciencia se apoya la identificación de los

³ Mapeo, préstamo al español de la voz inglesa *mapping* es, específicamente, la asignación de relaciones entre dos elementos similares.

elementos analógicos neutros como indicio sobre si es posible obtener nueva información del mundo. De no haber certeza de si se aplica o no un punto comparativo del dominio fuente en el dominio meta, se observa que precisamente esa dimensión del fenómeno meta nos es desconocido. Una vez aclarado, podremos saber con mayor certeza cuán similares son realmente ambos dominios.

Debe tenerse en cuenta que el analogar es un proceso que tiene como objetivo la identificación de propiedades comunes entre dos o más elementos, pero su concreción no garantiza una buena analogía: es necesario discernir un criterio de evaluación de las relaciones establecidas entre lo analogado y los aspectos de lo analogado que se resaltan como similares. Es importante notar que la analogía representacional tiene una propiedad compleja: sus relaciones no se desarrollan puramente a través de procesos de deducción originados por principios racionales; las analogías se originan a partir de un proceso que no es lógico.

El proceso de elaboración de una analogía no está regido por criterios de verdad, sino que por grados de semejanza. Esta clase de relación es más difícil de cotejar. Sin embargo, dado que un foco de la investigación está ligado al análisis de la formación de nuevas ideas en la ciencia a partir de procedimientos analógicos, es necesario contar con algún criterio crítico para discernir cuán fieles son las analogías y, más importante, cuán útiles son sus productos. Para este fin, Nersessian propone los criterios de productividad y adecuación analógica de Dedre Gentner (Gentner 1999), en función de que los dos casos estudiados en su libro, la documentación investigativa del trabajo de Maxwell sobre campos electromagnéticos y un caso protocolar adicional, satisfacen estos principios.

La cantidad y calidad de información extraída mediante analogía responde para Gentner a tres criterios: (i) *énfasis estructural*, o la conservación de las relaciones que componen a la estructura representacional; (ii) *consistencia estructural* o la posibilidad de desarrollar mapeos que sean estructuralmente isométricos entre sistemas, es decir, que haya isomorfismo no solo de propiedades sino que también de las estructuras en las que se alberga a tales atributos; y (iii) *sistematicidad*, entendida como el mapeo de sistemas de estructuras relacionales

interconectadas de nivel superior, es decir, que exista analogía entre los sistemas en los cuales se dan las estructuras donde están las propiedades analogadas. Ejemplificar todos los aspectos de la propuesta de Gentner sería largo y engorroso, pero lo destacable aquí es que Nersessian distingue que la propuesta de Gentner enfatiza relaciones analógicas que no se dan entre símbolos simples, sino que en estructuras de objetos ⁴ que son comunes entre sí, generando relaciones isométricas estructurales, y que esos principios orientan la mirada a buscar a los sistemas de estructuras por sobre elementos analogables individuales.

Como un ejemplo, continuando con las metáforas planetarias, es posible también elaborar analogías entre la Tierra y, por ejemplo, un globo, en cuanto a que ambos flotan en un medio. Sin embargo, existen diferencias en la estructura que rige a estos elementos analogados: la causa de la ingravidez en el globo (fue inflado con helio) tiene una causa distinta que la ingravidez del planeta (está en un ambiente vacío desplazándose a 30 kilómetros por segundo dentro del campo de influencia gravitatoria ejercida por el Sol). Si bien esta diferencia de causa no hace que el globo y el cuerpo celeste dejen de ser figuras relativamente esféricas, si provoca que las razones detrás de esa semejanza sean distintas, por lo tanto se debilita la analogía, incluso sin haber perdido puntos de contacto analógicos. Esa falencia hace a esta analogía específica más pobre y menos productiva, a diferencia de una analogía donde se conserva en ambos dominios los elementos que rigen a la estructura de objetos a analogar, como es el caso de una comparación entre la "flotación" de la Tierra y la Luna, que halla su causa en principios astrofísicos comunes.

En síntesis, la analogía en los modelos tradicionalmente considera la transferencia de atributos, rasgos o símbolos⁵ desde un dominio fuente conocido a

⁴ Objetos entendidos como componentes separables de un sistema complejo, segmentados (abstraídos) por la mente (Gentner & Gentner 1983, 102, nota 2). Nersessian llamaría a estos objetos por el nombre de símbolos.

⁵ A lo largo del desarrollo de la tesina nos veremos en la incómoda situación de deber usar una palabra, "símbolo", en contextos muy parecidos con significados diferentes, lo cual puede ser conducente a la confusión. Mientras autores que veremos en seguida y que forman parte de una

uno meta por conocer o aclarar. El éxito de la analogía no depende solo de la cantidad de puntos en común entre lo analogado, es decir, la cantidad de atributos transferibles de fuente a meta, sino que de si desde un principio se revelan estructuras simbólicas o conceptuales de los dominios que sean similares, de modo que la relación entre los atributos transferidos también sea similar. Específicamente, en el caso del descubrimiento en las ciencias y en la elaboración de nuevas hipótesis, la identificación e individuación de los puntos que no nos son claros del dominio meta, las analogías neutras, son tanto o más importantes que las analogías positivas o negativas exitosas.

Ya expuestos los puntos indispensables para describir el funcionamiento de los modelos, se procederá a entregar una perspectiva resumida de los antecedentes históricos conceptuales que informan el panorama del estudio de la formación de los modelos mentales.

2.3. Antecedentes a la conceptualización de los modelos mentales: Peirce y Wittgenstein

Siguiendo la exposición de Philip Johnson-Laird (2004), se puede atribuir a la obra de Craik el puntapié inicial de la discusión de lo que son los modelos mentales y su interacción y relación con los fenómenos a los que estos refieren. Pero una apreciación adecuada de los aspectos más fundamentales de tales modelos requiere mencionar el trabajo de Charles S. Peirce.

Peirce, a través de la publicación de su cálculo de predicados en 1883, formuló el sistema de lógica más importante a la fecha, lo que potenció la capacidad de

noción tradicional de las ciencias cognitivas utilizan el término "símbolo" o "simbólico" para referirse a las entidades mentales organizadas de modo convencional, como las palabras o los términos usados en las matemáticas, Nersessian utiliza ese mismo término para referirse a contenidos mentales individuados generalmente derivados de la percepción. Lo que Peirce y Paivio entenderían como simbólico en este contexto, Nersessian lo expresa bajo la rúbrica de "proposicional" (ver sección 2.6). Para evitar confusiones, salvo que se indique lo contrario, la noción de símbolo usada en esta tesina se refiere estrictamente a la noción de Nancy Nersessian.

manipulación de conectores y cuantificadores. Su descripción de las propiedades de los signos, categoría que también comprende a los pensamientos, se resume en tres aspectos distintos:

- a. Los signos pueden ser *íconos* representacionales en virtud de su semejanza estructural, lo que permite concebir al diagrama como una analogía de la estructura de un objeto.
- b. Los signos pueden ser *índices*; es decir, poseen propiedades deícticas en virtud de una conexión física directa. Al apuntar o referir a un objeto o fenómeno, se establece una conexión entre el signo y el objeto-fenómeno, generando un enlace entre ellos.
- c. Los signos pueden ser *símbolos* y representar entidades en virtud de reglas o hábito convencional, como ocurre con las descripciones verbales.

En estos aspectos podemos observar el germen de los atributos de los modelos: su propiedad icónica en el primer aspecto y la propiedad proposicional en el tercero; estos atributos se presentan en la sección 2.5 y se analizan en más detalle en las secciones 3.2.2 a 3.2.4. Mas conviene señalar que la visión de los signos en su caracterización icónica y proposicional es extremadamente relevante para la discusión acerca del formato que define la configuración de los modelos en la mente de su creador. Es en esta instancia donde parece darse nombre a estas propiedades de los modelos y es en donde se reconoce que una de las características esenciales de ellos es que son *intencionales*; es decir, son elementos que hacen referencia a algo y actúan como puente entre la mente y el mundo externo. Resulta digno de resaltar que Peirce incluso llega a hacer el contraste, con otra nomenclatura a la usada en el presente texto, entre las propiedades icónicas de las representaciones con los símbolos proposicionales del lenguaje. Además de esto, Peirce reflexiona sobre la riqueza en información que puede revelar un diagrama icónico y lo contrasta a la especificidad de la información comprendida por las proposiciones. Este atributo de la densidad informativa icónica, opuesta a la

parquedad proposicional, podremos reconocerlo en los argumentos expuestos por Barsalou respecto al formato de las representaciones mentales.

En otro ambiente, en 1922, se puede apreciar al analizar ciertas proposiciones del *Tractatus Logico-Philosophicus* de Ludwig Wittgenstein una teoría del significado asociada a las figuras, otra forma de denominar las representaciones. En síntesis, Wittgenstein reflexiona sobre la configuración mental de figuras de los sucesos como modelos de la realidad, los cuales se corresponden con hechos en el mundo. El conjunto estructurado de los elementos de una figura constituyen una representación, donde estos elementos se deben combinar de la misma forma que los hechos en el mundo (esto es, deben presentar algún grado de semejanza en la estructura del fenómeno para ser representaciones fidedignas)⁶.

Otros filósofos y psicólogos, en tiempos similares a los antes descritos, también desarrollaron propuestas en torno a los temas que aquí se resaltan. Por ejemplo, Frege anticipó en algunos aspectos a Peirce y los estudios de la Gestalt conducidos por Köhler en 1938 describen otros aspectos de la semejanza similares a los comentarios de Wittgenstein. Sin embargo no es tan importante rescatar exhaustivamente todos los antecedentes para la formación de la noción de modelo como sí lo es identificar los temas centrales de esta discusión, la clase de argumentos presentados en este período, en cuanto a su papel de antecedentes del trabajo de Kenneth Craik, quien daría a la filosofía de las ciencias la primera formulación respecto a los modelos en su rol en la ciencia. Aquí se aprecia que la discusión filosófica daba los pasos que facilitarían la presentación de los modelos como estructuras compuestas de símbolos, inherentemente intencionales, pero esa intencionalidad ha de tener un grado de semejanza con lo que se representa.

⁶ Vid. *Tractatus Logico-Philosophicus*, props. 2.1, 2.12, 2.13, 2.15 y 2.17.

2.4. Inicios del trabajo sobre modelos mentales: Kenneth Craik

En la obra publicada en 1942, *The Nature of Explanation*, el filósofo y fisiólogo Kenneth Craik desarrolla una posición sobre la estructura del pensamiento sustancialmente diferente al contexto dominante del período, el conductismo. La visión conductista de la mente busca resolver el problema asociado a la sustancia y localización de esta al exponer que las conductas son meramente respuestas a fenómenos externos, negando la necesidad de una mente en primer lugar. En contraparte, Craik y postula que la mente está ligada a la formación de modelos mentales, construcciones que operan tal como un modelo mecánico, favoreciendo semejanza en función por sobre apariencia, con respecto a un fenómeno del mundo, pero que residen plenamente en el pensamiento.

El contrapunto mentalista y enfocado a las funciones del pensamiento de Craik también acarrea la incorporación de los modelos, entendidos hasta este período como un dispositivo externo que representa una función de un fenómeno, a un plano mental interior, carente de componentes materiales. Cuando las personas se plantean un problema, observa Craik, lo reconstruyen mentalmente a través de crear una representación del fenómeno, lo cual se lleva a cabo gracias a relaciones de analogía entre dicha construcción imaginaria y el problema. La persona que construye un modelo mental incluso imagina situaciones inexistentes a partir de los datos del mundo con los que cuenta en un momento dado, como ocurre con el arquitecto que proyecta la manera de construir un puente entre dos bordes de un río y que visualiza el progreso y las etapas de construcción de ese puente. Estas formulaciones imaginarias operan de forma similar a como lo haría el objeto en el mundo en su forma manifiesta.

La teoría de Craik se estructura a partir de alejarse de una conceptualización del pensamiento como interacciones químicas y acercarse a la idea de que el pensar se lleva a cabo mediante la manipulación de estructuras de símbolos, abstracciones de los estímulos perceptuales captados por los sentidos que constituyen el contenido mental. Craik concibe un mecanismo de captación de estímulos sensoriales y su transformación a símbolos en un proceso de

transducción, una transformación de una clase de señal a otra distinta, que sigue estos pasos:

1. Transformación de un proceso externo a proposiciones o símbolos, que pueden organizarse como modelos de fenómenos del mundo.
2. Análisis racional de transformación de esos símbolos a otros símbolos. Es en este paso donde se acciona el modelo, lo cual genera contenido simbólico nuevo.
3. Retrotraducción ⁷ de los símbolos nuevos a procesos externos o al reconocimiento de que hay correspondencia entre los símbolos con objetos externos.

El proceso de transducción consiste en transformar información sensorial (Craik enfatiza en información visual) a patrones neurales, cuyo contenido son los símbolos que manipula la mente, lo cual puede desencadenar reacciones fisicoquímicas que generan excitación de los órganos motores. No solo eso, los contenidos mentales nuevos pueden actuar como fuente para formar otros contenidos, que a su vez pueden generar nuevas conexiones neurales que desencadenan nuevas ideas y nuevos modelos que no se estructuran a partir de datos sensoriales directos. Con estas explicaciones, Craik conecta la interacción de los estímulos sensoriales con el aparato perceptual, su transformación a contenido mental y su capacidad de activar distintas áreas del organismo (aparato perceptual, mente como razonamiento lógico e imaginación). De este modo, se liga las acciones físicas con la formulación mental de deseos de realizar dichas acciones, además de mostrar la producción de contenido mental nuevo a partir del puro pensamiento, representado como resultado de las transformaciones de las redes neurales.

⁷ Retrotraducción: traducción inversa. En este caso de símbolo a proposición.

El contenido mental que forma parte de estas redes, observa Craik, constituye una representación de un fenómeno que no es una réplica pictórica idéntica formada a partir de la información en bruto captada a través de nuestro aparato sensible, sino que una sintetizada y compuesta de numerosos símbolos. Los símbolos, de acuerdo a Craik, comparten ciertas características esenciales que son de la misma naturaleza que los datos utilizados por dispositivos mecánicos que ayudan al razonamiento y al cálculo, es decir: son abstracciones lingüísticas arbitrarias. Estos símbolos, que entenderemos posteriormente como proposiciones, al organizarse en estructuras relacionales que tienen puntos en común con los elementos representados se constituyen como modelos. Con *estructuras relacionales*, indica Craik, se describe una semejanza funcional entre la organización de símbolos mentales y los procesos externos con los cuales se quiere extraer un paralelismo. Esas estructuras relacionales son producto de la abstracción del contenido perceptual y de la asociación de los símbolos descritos anteriormente, abstraídos de modo de reducirse a sus propiedades funcionales.

De este modo, no se presenta una imitación perceptual idéntica al fenómeno del mundo, un isomorfismo representacional. La relación entre la representación y lo representado se funda en semejanza parcial de algunos elementos en desmedro de otros. Este último concepto, el de estructura relacional, es un elemento constitutivo del desarrollo conceptual de los modelos mentales como lo entiende Nersessian, al ser las estructuras de conexiones conceptuales-simbólicas de los cuales se busca obtener un grado de semejanza, de acuerdo a lo que describe Gentner como patrones productivos analógicos.

Así, Craik presenta un andamiaje básico de la operación de modelos mentales en su teoría del funcionamiento de la mente, donde la información en general visual que se recoge a través del aparato sensorial se reinterpreta como una abstracción simbólica. Estas se organizan de modo de generar modelos mentales hipotéticos de fenómenos físicos, los que, en un futuro, estructurarán la noción de modelos mentales. Esto desemboca en el debate sobre la conceptualización semántica y sintáctica de las teorías.

2.5. Visión semántica y sintáctica de las teorías

La comprensión de los modelos mentales en la ciencia exige necesariamente tener una idea de la relación entre los modelos y las teorías, cómo estos interactúan entre sí y se relacionan con el mundo. En consonancia con el trasfondo cultural científico prevalente en el período relacionado con esta investigación, la visión de las teorías se vio permeada por la voz dominante de la filosofía de la ciencia del momento, que para la época a la que nos referimos estaría constituida por el empirismo lógico.

La *visión sintáctica de las teorías*, también denominada visión heredada, recibida o axiomática de las mismas, se corresponde a grandes rasgos con la herencia del empirismo lógico y el trabajo del Círculo de Viena. De acuerdo a esta visión, las teorías son sistemas axiomáticos de leyes que especifican relaciones entre términos teóricos (por ejemplo, "electrón") en los que las generalizaciones empíricas se explican como derivadas de las leyes teóricas. Para poder conectar los hechos con las teorías, las cuales describen procesos que generalmente no son observables dada su naturaleza axiomática, se recurre a la deducción de consecuencias comprobables de las hipótesis elaboradas para intentar explicar un hecho del mundo de acuerdo a reglas de correspondencia, las cuales actúan como requisitos reguladores de los procedimientos experimentales admisibles para este fin. Todo esto tiene como resultado la especificación rigurosa del significado de los enunciados que componen dichas deducciones. Esto implica que las teorías se componen de términos arbitrarios que se articulan a través de su coordinación con enunciados observacionales generales compuestos por términos lingüísticos (por ejemplo, "electrón" es "aquello que deja un rastro en una cámara de niebla"). De este modo, las teorías, axiomáticas y formales, se conectan con los hechos gracias a los enunciados observacionales que, al regirse por las reglas de correspondencia, encuentran el punto de enlace entre mundo y teoría. Así, se logra el objetivo de relacionar parámetros axiomáticos, que pueden manipularse mediante la lógica y la dimensión empírica, gracias a la presencia de enunciados observacionales que se

relacionan con los hechos. La formulación de esta estructura tiene, en última instancia, la finalidad de cotejar si estos términos teóricos tienen un correlato empírico; de no ser así, el término literalmente no denota nada. Mas la visión sintáctica fue duramente crítica. Un ejemplo de estas críticas es que existen dificultades para trazar una diferencia entre lo observacional y lo teórico (Quine, Putnam) ya que la observación está cargada de teoría desde un principio (Hanson, Kuhn).

En contraposición a la visión sintáctica de las teorías se genera una visión alternativa denominada *visión semántica*. De acuerdo a esta noción, expresada en su primera forma por Suppes, las teorías se caracterizan no por enunciados específicos que se instalan dentro de una configuración sintáctica, sino que por uno o más modelos que actúan como satisfactores semánticos al instanciarla. En este contexto, la definición de modelo es idéntica a aquella que se puede apreciar en matemáticas: los modelos son estructuras que ejemplifican e interpretan todos los axiomas que componen a la teoría. Por ejemplo, el "modelo atómico de Bohr" refiere a un número definido de clases de estructuras que contiene una amplia variedad de instanciaciones en las que se pueden ver representados átomos como el hidrógeno o el helio. Todas ellas comparten elementos comunes y semejantes y todas ellas satisfacen los requisitos semánticos de la teoría. De este modo, en lugar de ver las teorías como articuladas a través de una sola formulación lingüística, la visión semántica considera que estas son satisfechas por clases completas de estructuras que pueden dar una interpretación correcta de la teoría; cualquier instanciación de dichas estructuras, los modelos, pone de manifiesto su semántica.

La discusión sobre la distinción entre lo semántico y lo sintáctico en las teorías es lo que abre la ventana a la conversación respecto a los modelos que plantean Morgan y Morrison y Nersessian. Las autoras, todas ellas, buscan distanciarse de los resultados expresados en ambas visiones y las catalogan como insuficientes para poder representar el modo en el que efectivamente se desarrolla la investigación dentro del laboratorio. Además de los problemas indicados arriba sobre el funcionamiento de la visión sintáctica, Morgan y Morrison comentan que la

formulación normativa de las teorías gestada en esta visión sigue de cerca a los mecanismos de la física, dejando de lado las ciencias sociales, que son su principal preocupación. Además, señalan, que la visión semántica tampoco es suficiente, en la medida en que el proceder de la búsqueda de satisfactores semánticos de teorías no es el modo en el cual operan los científicos en el proceso del desarrollo de la ciencia (Morgan y Morrison 1999b, 2). Nersessian también hace sus objeciones, ya que considera que la reconstrucción lógica de las teorías es un proceso que ocurre después, nunca antes, de la formación de los conceptos en la mente del investigador durante el proceso de innovación científica; conclusión que extrae fundamentos en el contacto entre las investigaciones elaboradas por Barsalou sobre cognición y la visión de Nersessian de la necesidad de una epistemología naturalizada (Nersessian 2008, 4).

Más allá del debate sobre la noción de teoría, el giro propuesto desde la visión recibida a una semántica tiene importancia dentro del desarrollo del trabajo presente gracias a la puesta en escena de la naturaleza del formato de los modelos: el énfasis de los modelos como interpretadores de las teorías reformula la visión anterior, donde estos tenían un papel menos protagónico. Al poner en duda la dimensión sintáctica de los enunciados que componen las teorías en favor de su conceptualización como satisfactores semánticos (lo que implica que los modelos median entre teoría y mundo) se vuelve necesario establecer una conversación respecto a la composición de los modelos. Estas preguntas adquieren importancia para el entendimiento del papel de los modelos mentales en la formulación del razonamiento científico. Si la teoría no se conforma de un enunciado sintácticamente analizable, es decir, un enunciado lingüístico o matemático y se puede conformar de varios modelos que actúan como conjuntos de hechos, se debe explorar cómo se concibe mentalmente ese conjunto de hechos, el impacto en su procesamiento, el escenario donde ocurre la formulación de los modelos y varias preguntas más.

2.6. Formato y emplazamiento de los modelos mentales

La relevancia del debate sobre la visión semántica y la visión sintáctica de las teorías que se exploró en la sección anterior es el énfasis que colocan sobre los modelos y las preguntas que generan sobre su naturaleza, según tanto Morgan y Morrison como Nersessian. Al entregar una estructura inicial para las teorías y el problema que enfrentó el empirismo lógico respecto a la relación entre las teorías y el mundo, se evidencian los elementos que participan dentro de la dinámica entre los fenómenos y las generalizaciones abstractas que usamos para definirlos con claridad, los modelos. Una vez que se incorpora a estos últimos dentro de la dinámica antes descrita, resulta importante distinguir los atributos que estos tienen, lo cual entrega luces respecto a su funcionamiento y las posibles limitaciones que estos puedan tener. Se hace necesario comprender que los modelos mentales toman forma en un espacio. Reconocer el espacio donde transcurre la formación y configuración de los modelos mentales trae como consecuencia el reconocer las restricciones que impone dicho medio, lo cual perfila sus potencialidades y límites. Este escenario de formación de modelos, indica Nersessian, es la *memoria de trabajo*, una clase específica de memoria. Esta sección explica la memoria de trabajo y el resto de los conceptos sobre la memoria que son necesarios para entender los postulados de Nersessian explorados en el capítulo próximo.

Las facultades representacionales, independientemente de que se desarrollen de modo lingüístico o perceptual, se configuran en la memoria como espacio de expresión de una imagen mental durante un período de tiempo prolongado. Para antes de la década de 1970, la visión de la memoria estaba dominada por una perspectiva que apuntaba a un sistema dicotómico, una estructura mnemónica doble. Esta se compone de un módulo asociado a la retención de datos dotado con un alto grado de flexibilidad para lidiar con la velocidad de presentación, que funciona de forma óptima en la retención de estímulos fonológicos, pero es muy limitada en capacidad de almacenamiento, denominada memoria a corto plazo. Se suma a esta otra clase de memoria, que se caracteriza por contar con un nivel de retención mucho más vasto tanto en cantidad

de datos como en duración, pero con tiempos mucho más dilatados de adquisición de material nuevo, la memoria a largo plazo⁸. Estos sistemas funcionarían de forma interconectada, de modo que el aprendizaje dentro de la memoria a largo plazo ocurre en la medida que los contenidos mentales residen persistentemente dentro de la memoria a corto plazo, lo cual se lograría mediante la repetición constante. Esta visión de la memoria se denominó como *modelo modal de Atkinson-Shiffrin*.

Sin embargo, el rol de la retención en la memoria a corto plazo para el aprendizaje fue rebatido por Craik y Watkins, lo cual condujo posteriormente a Craik y a Lockheart en 1977 a desarrollar una teoría de *niveles de procesamiento*, donde transcurre el procesamiento de información en varios niveles de grados progresivamente más altos en abstracción, en un sistema paralelo a un mecanismo de memoria central. De acuerdo a esta visión, existen numerosos sistemas internos orientados a procesar distintos aspectos de un fenómeno (por ejemplo: una palabra enunciada se analiza a nivel rítmico, melódico, sintáctico, semántico, etc.), donde existen niveles de codificación variables en su grado de abstracción, entendiendo esto como niveles progresivamente más distantes de la experiencia sensorial y más cercanos a una proposición racional. Si bien esta última teoría no busca romper completamente con la visión de memoria a corto y largo plazo, señala niveles adicionales de análisis. En efecto, desarrolla de forma más satisfactoria los niveles de contenido que operan conjuntamente para la incorporación de datos en la memoria a largo plazo y daría paso a la contribución de Baddeley y Hitch respecto a esquemas de memoria más precisos que el modelo modal.

La teoría de los niveles de procesamiento posee sus propios problemas: primero, que no se responde a la necesidad de una visión más integral que la otorgada por la visión dicotómica y, segundo, la suposición empíricamente demostrada como equivocada de que el deterioro de la memoria de corto plazo afecta directamente a la memoria de largo plazo. En la búsqueda de solucionar estos problemas proliferaron los esfuerzos de identificación de estructuras de la

⁸ Me refiero aquí al trabajo de investigación de Baddeley en 1966 y Waugh y Norman de 1965.

memoria, entre los cuales resaltaremos a Baddeley y Hitch. Ellos proponen una reformulación de la memoria de corto plazo y abren la puerta a la visión de la *memoria de trabajo*. Esta es funcionalmente similar a la memoria de corto plazo: sigue siendo una estructura que mantiene información por un tiempo limitado, aunque no se sigue sosteniendo que es la plataforma de entrada de la información a la memoria a largo plazo por las razones ya descritas. Pero independientemente de lo anterior, se descarta la noción de este módulo de memoria como única puerta a la memoria a largo plazo y se identifica como el espacio en el cual se realizan los cálculos de los procesos de resolución de problemas y el ambiente en el cual se contienen inmediatamente los cálculos. En resumen: la memoria de trabajo no solo es un espacio de contención de datos, es también donde toman lugar las operaciones mentales de la conciencia inmediata. Esta etapa de la memoria, describe Baddeley, se compone del (i) *ejecutivo central*, un sistema de control atencional de capacidad limitada que opera como coordinador, y al menos dos módulos subordinados, uno vinculado a la mantención de la información visual-espacial y manejo de la semántica visual, (ii) la *agenda visoespacial*, y otro asociado a la mantención y manipulación de la información con fundamentos ligados al lenguaje, (iii) el *bucle fonológico*. Posteriormente Baddeley agregaría a este modelo un tercer sistema subordinado: (iv) el *almacén episódico*, un mecanismo de interacción entre la información incorporada por diversos sistemas con elementos instalados en los tipos de memoria analogables a la memoria a largo plazo del modelo modal.

La conceptualización de la memoria de largo plazo también maduró con el paso del tiempo, pero no resultó tan relevante al trabajo de Nersessian como lo es la memoria de trabajo, de modo que nos referiremos a ella de forma un poco más acotada. Se desarrollaron varias distinciones importantes dentro de la memoria a largo plazo en la forma de la memoria implícita, que funciona de forma automática, y la memoria explícita, que funciona a pedido de la persona, y entre la memoria episódica y la semántica, que tienen relación con la teoría sugerida por Baddeley. Si bien las dos últimas son sumamente similares (lo suficiente como para haber sido conjuntamente denominadas memoria declarativa por largo tiempo), se distinguen

principalmente en que la memoria episódica está relacionada que aquellas cosas que se recuerdan como experiencias, está ligada a la subjetividad del sujeto vertido en retrospectión, en contraste a la memoria semántica, que se percibe de forma atemporalmente presente y se relaciona con aquello que se recuerda como sabido o conocido, información más cercana a la idea de información aprendida y más lejana a la idea de lo experimentado. Mientras la memoria episódica implica cierta conciencia y conocimiento de sí mismo, la memoria semántica no contiene esta autoconciencia. La memoria semántica refiere a información o conocimiento independientemente de una subjetividad observadora inserta en el acto mismo de recuperación de la memoria, es independiente de ella. Ambos sistemas funcionan en paralelo y si bien puede haber información compartida, la integración de datos en la memoria semántica generalmente se deriva de la reorganización que ocurre con el pasar del tiempo de las experiencias almacenadas en la memoria episódica hasta el punto en el que solo resta información carente de esa subjetividad que observa, asentándose de una forma más permanente.

Los atributos de la memoria que hemos analizado hasta aquí permiten la reconsideración de la memoria a corto plazo como memoria de trabajo, lo que acarrea el emplazamiento de la resolución de problemas en este espacio cognitivo. Esto impone una restricción importante dentro de la actividad se puede desarrollar en ese ambiente, dadas sus limitaciones de almacenamiento de datos, lo cual pone de relieve el tema del formato en el que se codifica el razonamiento sobre la base de modelos.

La conversación sobre el formato de los modelos nos conduce a volver a la historia de la psicología. Las propuestas de Craik, como se comentó anteriormente, no se dieron en un momento propicio: el ambiente estaba dominado por el conductismo. Al volcarse la psicología a un regreso al mentalismo, postulados como los de Craik se recuperan y se vuelve a la investigación de las propuestas asociadas a las distinciones de las representaciones mentales, en donde se genera una extensa discusión, aún inconclusa, respecto al formato en el que estas se construyen. La distinción de Allan Paivio entre sistemas representacionales

simbólicos y sensoriomotores incorpora a ambos sistemas, antes conceptualizados como irreconciliables, como sistemas paralelos. En lugar de proponer un sistema único, Paivio supone en su *teoría de codificación dual* que son módulos distintos de incorporación de datos, dirigidos a representar dos clases distintas de información: el sistema sensoriomotor incorpora todos los datos no verbales y adquiridos a través de la sensibilidad de los sentidos, como la información compleja compuesta de percepciones visuales, auditivas y táctiles y los incorpora como *imagenes*, mientras que el sistema simbólico incorpora los datos verbales y no verbales como palabras en cualquier formato (visuales, auditivas, escritas), junto al análisis abstracto de los objetos y los incorpora como *logogens*. Toda esta información se suma a la mente en niveles superiores de procesamiento, sin necesidad de una coordinación informativa que actúe como un lenguaje de mediación (Paivio 1986).

Con el desarrollo de las propuestas, otros términos pasan a describir la nomenclatura descrita aquí por Paivio. Las autoras asociadas a este trabajo desarrollan los conceptos descritos bajo los rótulos de estructuras icónicas y proposicionales. Las *estructuras icónicas* se corresponden con la información sensorial captada por el sistema sensoriomotor descrito por Paivio, pero englobando todas aquellas representaciones analógico-demostrativas, es decir, caracterizadas por ser representaciones análogas perceptuales, lo cual les otorga un atributo de gradualidad de representación (son más o menos parecidas perceptualmente al objeto del cual son intencionales). Por otra parte, las estructuras compuestas por relaciones intencionales mediatizadas por estructuras abstractas, como configuraciones lingüísticas o matemáticas, sin mediación perceptual entre estructura referencial y objeto referido, son denominadas simbólicas por autores como Fodor, Paivio y Peirce. Las autoras utilizan un término distinto, *estructuras proposicionales*, que será el término que usaremos en adelante para referirnos a este formato representacional. A diferencia de las representaciones icónicas, las proposicionales están sujetas a gramáticas que los estructuran (las teorías matemáticas que rigen a los números y las normas gramaticales y sintácticas que regulan al lenguaje) y, dado esto, pueden poseer valores de verdad.

Posteriormente a trabajos como el de Paivio, la dirección de la ciencia cognitiva respecto al formato de las representaciones mentales se inclinó hacia una dirección orientada a los sistemas predominantemente proposicionales (Johnson-Laird 2004), hasta la presentación del trabajo de Barsalou (1995). En su investigación práctica respecto a la modalidad de los sistemas de construcción representacional, Barsalou llegó a la conclusión de que es económicamente innecesario en términos de recursos cognitivos el proceso de transformación de contenidos de información sensoriomotora a abstracción lingüística, posición sostenida por Craik en su primera propuesta de modelos mentales, y de que existían razones empíricas para poner esto en duda. En efecto, investigaciones respecto a la velocidad de procesamiento de representaciones icónicas y proposicionales revelaron que las primeras son utilizadas con más flexibilidad y velocidad que las segundas. Además que, debido al alto nivel de generatividad de los sistemas proposicionales, es más difícil reconocer errores en esos sistemas que en otros más ligados a sistemas visuales. Este argumento puede echar por tierra varios de los supuestos a favor de una proposicionalidad estricta de la construcción representacional.

Las codificaciones de Paivio necesitan un mayor grado de detalle, dado que frecuentemente existen tipos de representaciones que, si bien cuadran dentro de la definición de proposicionalidad o iconicidad, traen consigo representaciones que son componentes asociados al otro tipo de representación, icónicas con elementos proposicionales y proposicionales con elementos icónicos. En vista de esto, Barsalou propone una distinción de los tipos de representaciones en el mismo espacio conceptual que los *imagens* y *logogens* de Paivio, los componentes de las estructuras representacionales icónicas y proposicionales: las *representaciones modales* y *amodales*. A grandes rasgos, las representaciones modales son aquellas que son producto del sistema sensoriomotor y aluden a objetos del mundo mediante analogías desarrolladas a partir de la percepción. Por otra parte, las representaciones amodales son transducciones arbitrarias de estados perceptuales, es decir: son transformaciones de datos de la percepción a valores abstractos arbitrarios (números, palabras). Esta distinción permite discernir en

detalle estructuras representacionales como aquellas que propone Johnson-Laird en su descripción de la manipulación representacional que ocurre en la mente: estructuras que utilizan información espacial de forma analógica para concentrar datos (modales), pero que se componen de símbolos abstractos para poder representar información (amodales). En lugar de distinguirse solo entre estructuras representacionales icónicas y proposicionales, se abre la posibilidad de distinguir estructuras icónico modales (aquellas puramente perceptuales), icónico amodales (abstracciones arbitrarias que se apoyan en información perceptual, como ilustra Johnson-Laird) e proposicionales amodales (aquellas puramente compuestas de símbolos arbitrarios abstractos).

2.7. Síntesis de los conceptos preliminares

El razonamiento mediante modelos mentales en el contexto de la filosofía de las ciencias se ha desarrollado en un proceso de maduración. Los conocimientos respecto a nuestro aparato cognitivo se ha incrementado y han proporcionado más detalles que facilitan el discernimiento de las estructuras que componen la arquitectura de la mente y el modo en el cual desarrollamos conceptos nuevos. La conceptualización inicial de los modelos, la visión sintáctica, los concebía estrictamente como un proceso de demostración secundario y mayormente dispensable dentro del desarrollo de las teorías, pero con el giro de la investigación de los modelos hacia la visión semántica de las teorías, el análisis de los modelos ha pasado a tomar un rol más importante para aprender sobre los mecanismos de descubrimiento.

Para entender a los modelos, sean mentales o no, es importante discernir que son estructuras que se fundan en procesos analógicos, buscan los rasgos semejantes entre un dominio fuente conocido para identificar rasgos de un dominio meta. Este marco de comparación entrega luces tanto si hay elementos similares entre las estructuras, al proyectar la analogía positiva, como si no los hay, al desvelar las diferencias mediante analogía negativa, de modo de facilitar el descubrimiento de nuevos rasgos, antes ofuscados o llanamente desconocidos. El proceso de creación de los modelos implica trabajo que se desarrolla en gran parte

en la mente, en la medida que los mecanismos de resolución de problemas se emplazan en ese espacio cognitivo, pero veremos en el capítulo que sigue que Nersessian sugiere que este trabajo no se restringe solo al ámbito de la mente, sino que es un sistema donde las representaciones pueden plasmarse fuera de la mente para facilitar la manipulación de esos datos. Los modelos, en términos de su composición, son representaciones analógicas de estructuras físicas o mentales compuestas de símbolos. Estos símbolos y la estructura general que los organiza no toman un solo aspecto: pueden ser icónicos, como las representaciones que son semejantes a los datos que obtenemos de nuestros sentidos, o proposicionales, como la forma que toman con la voz de nuestros pensamientos, con un lenguaje sea matemático o más cercano al habla. Los símbolos que componen estas estructuras pueden ser modales, como los elementos más básicos de una representación sensorial, o pueden ser amodales, como lo son las palabras o números aislados. Barsalou agrega que los modelos son en gran medida icónicos, netamente por un asunto de economía de recursos cognitivos, ya que es ineficiente la transformación de estímulo sensoriomotor a lingüístico o formulario, relacionado con fórmulas, y su proceso de traducción inversa. Además de esto, tenemos amplios antecedentes proporcionados por estudios de activación de áreas cerebrales que nos conducen a pensar que el aparato sensorial y motriz, sumamente desarrollados dentro de nuestro sistema cognitivo, actúan como soporte de los mecanismos de resolución de problemas.

3. Desarrollo

3.1. Modelos mentales como marco de trabajo

Para empezar este trabajo sería conveniente dar una definición general aceptada por toda la comunidad filosófica respecto a los modelos mentales para poder desglosar los análisis desarrollados por las autoras, Nancy Nersessian y el grupo compuesto de Mary Morgan y Margaret Morrison. Sin embargo, esto no es posible. En el presente no existe una definición única de modelo mental que comprenda integralmente las visiones respecto a estos, la mirada es sumamente diversa. Tampoco las autoras proporcionan una definición general de modelo en sus textos y reconocen que esto se debe a que no existe consenso. Lo anterior no impide la formulación de trabajos sobre modelos. Nersessian indica que dadas las condiciones de trabajo actuales, con ausencia de una teoría integral, se estructura un marco de trabajo donde numerosos investigadores desarrollan la idea de unidades organizadas de representaciones mentales de conocimiento empleadas en distintos tipos de tareas cognitivas, pero todo esto a partir de nociones diversas de lo que caracteriza a estos modelos. Un problema de esto es que los autores definen a los modelos mentales en torno a objetivos específicos de investigación. Esto es: las definiciones de modelo que generalmente se desarrollan a nivel de investigación se construyen en torno al objetivo que tiene el investigador particular al estudiar alguna característica específica de ellos. En este sentido, todas las autoras son claras: no buscan generar una teoría explicativa de los modelos en su forma más plena y ni de la totalidad de las representaciones que los estructuran, sino que buscan exponer puntos específicos.

Cada grupo de autoras persigue distintos objetivos, con distintos énfasis. Por una parte, Morgan y Morrison pretenden establecer de forma clara que los modelos mentales no deben entenderse como sujetos a dependencia de una jerarquía vertical teoría - modelo - mundo, como se caracterizan la visión sintáctica. En su lugar proponen que los modelos son agentes autónomos y que deben toda su utilidad dentro de la ciencia a esta característica de independencia parcial tanto del mundo como de la teoría. Nersessian busca despejar la incógnita de cómo nacen

los conceptos científicos después de establecida la posición postpositivista⁹ y considera que una posibilidad de conceptualizar el nacimiento de las ideas en las ciencias se deriva del proceso de creación de modelos mentales, una habilidad profundamente imbricada en la capacidad humana de resolver problemas del medio.

Esto significa que, desde un principio, estamos tratando con tipos de investigación que tienen objetivos distintos, lo cual se hace patente al observar que Morgan y Morrison no mencionan a los modelos mentales en su desarrollo, obviando su existencia distinta a los modelos físicos y de datos. Sin embargo, ambas aproximaciones hablan de varios elementos comunes, comparten definiciones y vocabulario. Lo anterior implica que, aunque presenten diferencias, podemos establecer un diálogo entre esas posiciones. Con esto en consideración, analizaremos sus posiciones, estableceremos una comparación que acerque ambas visiones y, donde sea posible, se dirigirán esfuerzos hacia facilitar un potencial intento futuro de desarrollar una teoría general de los modelos mentales.

El interés de Nersessian es especificar el modo en el que se puede llevar a cabo el razonamiento creativo (entendiendo esto como el proceso de innovación en el saber) mediante modelos mentales en el contexto científico, legitimar los resultados de esos razonamientos y exponer que la memoria de trabajo funciona como un sistema que integra las representaciones externas (denominados

⁹ Comentamos anteriormente, en la sección 2.5, la crítica de Hanson y Kuhn sobre el problema de la continuidad de los conceptos científicos. Kuhn, tras poner en duda la conexión real entre términos homógrafos en estudios científicos antes y después de revelaciones que remueven la disciplina entera (probablemente el concepto de "masa" de la física mecánica y de la física cuántica son marcadamente distintos), establece que los conceptos son "incommensurables", que después de estas transformaciones profundas, revoluciones científicas, no pueden sino ser distintos los significados. Esto eventualmente termina segmentando a una ciencia por etapas históricas, con unidades de conocimiento que son estructuralmente coherentes con sus conceptos internos, pero que son incongruentes entre sí. Si Kuhn tiene razón, la noción de avance de la ciencia es un discurso político. Solo habría una sucesión de perspectivas de mundo, paradigmas de la ciencia. Ante esto Nersessian parece tener en mente como parte de los objetivos de trabajo, sin anunciarlo, desarrollar su propuesta del método cognitivo histórico de filosofía de las ciencias, la metodología en la que ella busca enmarcar su aproximación a la filosofía de la ciencia, sin desembocar lo que denomina "el peligro de la irracionalidad en la ciencia", la incommensurabilidad conceptual kuhniana, donde no hay avance posible.

artefactos epistémicos) y aquellas entendidas tradicionalmente como halladas en la mente. En el desarrollo del trabajo de Nersessian hacia ese fin, ella nos entrega una noción tentativa de modelo mental:

[Un modelo es] una representación analógica estructural, funcional o de comportamiento de una situación, evento o proceso imaginario o del mundo real. Su analogía se deriva de su conservación de constreñimientos ¹⁰ inherentes en lo representado. (Nersessian 2008, 93).

Por otra parte, Morgan y Morrison entregan su noción tentativa de modelo, también dentro de un marco de trabajo, definida en contraposición al concepto de teoría:

[...] mientras las teorías se componen de principios generales que gobiernan el comportamiento de vastos grupos de fenómenos, los modelos son más acotados y muy generalmente se requiere de varios modelos para aplicar esos principios generales a casos distintos. (Morgan y Morrison 1999a, 12).

Si bien se explicitó la situación descrita por Nersessian donde las definiciones de modelos responden a los intereses de los investigadores, resulta útil hacer notar que la definición de Morgan y Morrison está adscrita a ciertas propiedades de la visión semántica de las teorías; a saber, la noción de que los modelos articulan a las teorías, que son conjuntos de modelos los cuales actúan como conectores entre el mundo y la teoría. Por otra parte, se hacen notar una diferencia importante con la visión semántica: la relación entre los modelos y las teorías es de mediatización, no es una donde predomina la teoría. Existe una diferencia entre la noción de modelo como satisfactor semántico y la que lo concibe como aplicador de principios generales a casos concretos, lo que coloca a Morgan y a Morrison en una posición de búsqueda de emancipación en alguna medida de los modelos de su relación con

¹⁰ Constreñimientos y oportunidades son referencia a las *constraints* y *affordances* de la terminología utilizada por Gibson. Como definición operativa: los constreñimientos son la propiedad de un objeto o circunstancia de impedir determinadas acciones o interacciones con este, mientras que las oportunidades son aquellas que facilitan o instan a desarrollarlas.

las teorías de acuerdo a la visión semántica, pero conteniendo la necesidad de esa relación. La noción de Nersessian, más general, apunta a la naturaleza analógica de los modelos mentales, la facultad de correspondencia que estos muestran con los fenómenos, y la relación activa que tienen los modelos como vehículos entre individuo y medio. Su visión se desprende de la discusión de las visiones semántica y sintáctica, mientras que la de Morgan y Morrison es más afín a la primera, al no independizar del todo a los modelos de las teorías.

En estas formulaciones no solo queda reflejado el espacio académico que ocupan las autoras, también queda presente las diferencias de objetivos. La definición de Morgan y Morrison no es una que defina a los modelos en un sentido universal. Su propósito es operativo, esa caracterización de modelos sirve para identificar al mismo tiempo la noción originaria de la visión semántica de las teorías, esto es, de modelos como satisfactores semánticos de las teorías, y una noción más relativizada de los modelos como mediadores entre teoría y mundo. Por otra parte, la definición de Nersessian se hace cargo de los modelos mentales en relación a cómo estos actúan como facilitación o constreñimientos en su manipulación y cómo eso es relevante para construir un modelo útil, una noción claramente psicológica. Posteriormente veremos más puntos donde esta distinción de objetivos afecta las posibles compatibilidades entre las visiones. Una vez expuesto esto, procedemos a profundizar en los aspectos conceptuales más básicos de las posiciones de las autoras.

3.2. Estructura conceptual e infraestructura cognitiva de los modelos

En esta sección revisaremos los conceptos básicos usados de las autoras analizadas para formar su conceptualización de los modelos. El lector podrá reconocer conceptos desarrollados en el capítulo pasado, pero ya no con el objetivo de introducir conceptos, sino que explicitar el modo en el que las visiones anteriores informan las posiciones desarrolladas por las autoras. Esta sección está dominada por la conceptualización de Nersessian, que tiene una base sumamente

desarrollada sobre la cognición y cómo funciona como infraestructura para el desarrollo, primero, de conceptos y símbolos y, luego, de modelos. En la parte final de la sección se retomará la visión de Morgan y Morrison.

3.2.1. Introducción a la visión analógica de Nersessian

La conceptualización de Nersessian del *model-based reasoning* (razonamiento sobre la base de modelos) se funda en la analogía que se desarrolla entre un fenómeno rico en información, el dominio fuente, y un fenómeno desconocido del cual tenemos razones para suponer que comparten atributos con el fuente, el dominio meta.

Este reconocimiento es una etapa preparatoria para la transferencia del conocimiento que tenemos del dominio fuente y la detección de aquellos atributos que no cuadran o llanamente no entendemos que constituye al dominio meta. Durante el proceso de reconocimiento analógico se elaboran símbolos, es decir: contenidos mentales representacionales básicos de impresiones o ideas del mundo. La información perceptual se sintetiza y se elaboran abstracciones, de modo de extrapolar la configuración estructural del fenómeno que se busca dilucidar dentro de la memoria de trabajo de forma eficiente. En esta configuración se instalan conceptos, que son las ideas sintéticas usadas en la ciencia, de modo de transferir entre personas información respecto a atributos del mundo mediante términos que actúan como referencia a objetos del mundo, un ejemplo es el término "masa".

Estos conceptos, organizados y constituidos en conjunto, dan origen a una estructura representacional. Los modelos se conforman de una pluralidad de estas estructuras y son representaciones simplificadas o abstraídas de un fenómeno o teoría. Estas estructuras se diferencian en función del modo en el que representan objetos del mundo como proposicionales o icónicas. Así mismo, los símbolos que conforman dichas estructuras se distinguen ulteriormente como modales o amodales en función, tal como la distinción anterior, de su manera de representar los componentes básicos de tales estructuras.

3.2.2. Formato de estructuras representacionales desde Nersessian

Un esquema simplificado de los roles de las estructuras icónicas y proposicionales es la siguiente. A partir de los postulados de Allan Paivio (1986), que expande el trabajo de Craik, se reconoce que las representaciones mentales ocurren en dos tipos de estructuras, icónicas o proposicionales. La constitución de estas se puede entender como una transformación craikiana de los estímulos sensoriomotores, es decir, una transducción desde objetos de la percepción a estructuras compuestas de símbolos, actividad desarrollada dentro de la memoria de trabajo¹¹. Durante este proceso se derivan conjuntos de símbolos de la percepción, objetos mentales que son manipulados por la capacidad de resolución de problemas. Además de esto, los símbolos más significativos de un fenómeno que se busca modelar, las *propiedades salientes*, se extraen e incorporan dentro de una estructura relacional. De este modo, los aspectos más relevantes de un fenómeno externo se incorporan en una maqueta interna que es sumamente abreviada y simple y que actúa como representación mental. El formato de estas representaciones puede ser proposicional o icónica y sus símbolos pueden ser modales o amodales. Esta diferenciación es importante para la argumentación de Nersessian, así que ahondaremos en ella considerando los datos entregados anteriormente.

Las representaciones proposicionales son aquellas de orden lingüístico o formulario y que actúan como una representación descriptiva de sus referentes. En

¹¹ Estrictamente hablando, los pasos de la transducción de Craik son, primero, objeto de la percepción, seguido de proposición, terminando en estructura simbólica, lo que genera un ciclo de representación icónica a proposicional y de regreso a icónica. Sin embargo, el trabajo posterior de autores como Barsalou pone en duda el estado proposicional de los resultados del procesamiento de la percepción. Si el proceso de incorporación perceptual de Craik supone que el punto meta es manipular símbolos modales, no hay razones para pensar que es necesario transformar los símbolos con la única intención de traspasarlos a sistemas proposicionales. Al parecer, la lógica detrás de la argumentación de Craik es que dado que la voz del pensamiento es uno de los atributos asociados al razonamiento mediante proposiciones, deben existir necesariamente razones para hacer esta transformación. Sin embargo, estudios de la cognición explorados por Barsalou revelan que esto no es intrínsecamente necesario; sería improbable que tal proceso ocurra del modo descrito por Craik.

esta clase de configuraciones se encuentran las representaciones matemáticas y las formulaciones lógicas. La proposicionalidad se organiza mediante el uso de gramáticas que especifican las relaciones entre símbolos que pueden darse en el interior de sus estructuras; estas gramáticas se expresan en la forma de reglas que actúan como mecanismos que permiten establecer la vigencia de ese valor de verdad, de modo que la calidad de las representaciones proposicionales pasan por la verdad o falsedad que esta posee, la relación entre la descripción que esta elabora y el estado del mundo. Una característica importante de estas representaciones es que cada elemento constitutivo proposicional, los símbolos que las componen, debe ser expresado de forma explícita.

En oposición a las representaciones proposicionales se muestran las representaciones icónicas. Estas representaciones se caracterizan por ser de orden diagramático y constituidas por estímulos sensoriales, las cuales son preeminentemente visuales, pero también pueden constituirse de elementos táctiles, kinestésicos o auditivos. Las representaciones icónicas, a diferencia de las proposicionales, se clasifican como demostrativas. La calidad de las representaciones icónicas se establece a partir de los criterios de adecuación¹² o en la semejanza, alcanzando el más alto nivel en el isomorfismo.

Todos los esquemas representacionales descritos admiten transformaciones, lo cual es una propiedad significativa de los modelos de acuerdo a la visión de Morgan y Morrison; la transformación mediante la manipulación de los modelos es lo que permite su uso como herramienta, como instrumento de medición y como articulador de teorías. Para Nersessian también es sumamente relevante, pero por la razón de que un modelo que no se transforme no puede ser animado y la animación de los modelos es crucial para su simulación, un rasgo definitorio de los modelos mentales. Nersessian especifica que los esquemas proposicionales

¹² Esto es una traducción de *goodness of fit*. Para contemplar el valor semántico completo de la idea, que es un poco más específica que solo adecuación, es una adecuación de ajuste en cuanto a algo, tal como el zapato de talla correcto se ajusta adecuadamente a un pie o como el retrato de un árbol de hojas verde delgadas y opaco de tronco largo y liso se ajusta más adecuadamente al laurel que a la palma.

pueden transformarse mediante la aplicación de reglas y normas propias de las gramáticas o la modificación de los valores de los símbolos que se instalan en una estructura gramatical dada. Para poder llevar a cabo simulaciones con representaciones proposicionales (ver sección de modelos dinámicos, 3.4.2) es indispensable explicitar no solo a los símbolos que la componen, sino que también a la sintaxis que controla la manipulación de estas representaciones, con sus constricciones y estados de transición. En contraste, las transformaciones de los modelos icónicos se hacen de acuerdo al cambio de las relaciones y constricciones que rodean a los símbolos coherentemente con los elementos demostrados y no de acuerdo a un conjunto de reglas arbitrario. Lo que le da esa coherencia a las transformaciones de las representaciones icónicas, y que la vuelven una facultad enormemente poderosa, que es las reglas para la transformación de las relaciones de los símbolos son implícitas (cuyas razones se explican en 3.2.5). Esto hace que no sea necesario disponer de forma explícita todas las constricciones y relaciones de los modelos icónicos con el fin de discernir intuitivamente las consecuencias de esas transformaciones.

3.2.3. Símbolos, conceptos y su formato representacional

Como se indicó más arriba, las estructuras representacionales se montan mediante la organización de símbolos. Nersessian utiliza, dependiendo del contexto, la palabra "concepto" y la palabra "símbolo" para referirse a los elementos con los cuales se monta estas estructuras. El texto no es específico, pero se sugiere la siguiente interpretación: los símbolos son los elementos que se incorporan en la memoria de trabajo, son subjetivos y poseen su propio formato, que describimos con anterioridad como modal o amodal y volveremos a explorarlos en seguida. Por otra parte, la característica esencial de los conceptos, que parecen utilizarse como referencia a partes de teorías científicas y de modelos ya concretados y perfeccionados, es que son puentes intersubjetivos, existen en torno a la explicación del funcionamiento de modelos o teorías para terceros. De ese modo, los conceptos parecen ser elementos mentales más sintéticos, como la idea de "masa", mientras

que los símbolos son contenido menos abstracto que el concepto, más cercano a la experiencia sensorial o al proceso de razonamiento detrás de la configuración de elementos amodales en la mente.

Los contenidos de las estructuras representacionales también poseen características de formato o codificación. Esta distinción más fina se deriva del trabajo de Lawrence Barsalou citado en los conceptos preliminares y refiere a los elementos constituyentes de estas estructuras. Los conceptos o símbolos pueden ser modales o amodales. Esta es una clasificación que replica las estructuras vistas anteriormente: los símbolos modales son análogos a las estructuras icónicas en cuanto a que son demostrativos y son derivados del sistema sensoriomotor. Por lo tanto están ligados con las representaciones visuales y configuración corporal, son las estructuras atómicas que componen la modalidad. Del mismo modo, los símbolos proposicionales son estructuras lógico-formularias que son las que se coordinan con la sintaxis descrita anteriormente, son los símbolos que describen elementos con valor de verdad en el mundo. La importancia de estos está en que es posible obtener modelos que operan de modo, por ejemplo, icónico amodal, que serían símbolos arbitrarios que describen cosas prescindiendo de una relación por semejanza con respecto a lo que representan, que se organizan de modo icónico, usando espacialidad y dimensiones para contener información, como ocurre en un diagrama de Venn.

3.2.4. La iconicidad de los modelos mentales

Nersessian hace hincapié en la utilidad, de entre los distintos tipos de modelos mentales en general, de adoptar una metodología de razonamiento por modelos mentales perceptuales mediante analogía para poder identificar hallazgos dentro de fenómenos que se escapan a nuestro entendimiento. Esto tiene como efecto que se delimite la investigación de Nersessian de los modelos hacia una visión que apunta especialmente hacia los modelos icónico-modales. Esto no debe confundirse con un rechazo del pensamiento proposicional o una objeción a la existencia de estructuras compuestas de símbolos amodales, que sería imposible

dado que las teorías de la física generalmente son modelos matemáticos y su lugar en el trabajo científico es a todas luces indiscutible, sino que indicar que la mente tiende a favorecer el uso de símbolos modales con la intención de imaginar posibilidades tentativas de explicación de fenómenos desconocidos¹³. Es más, las representaciones icónico-modales generan enormes oportunidades para los esfuerzos de animación de las representaciones mentales, objeto de interés de Nersessian (ver sección 3.4.2).

Lawrence Barsalou, en sus estudios sobre las estructuras neurológicas asociadas a la cognición¹⁴ sugiere que el pensamiento proposicional amodal es un proceso menos económico en recursos cognitivos que el razonamiento icónico-modal. ¿Por qué es esto? Mientras el razonamiento proposicional exige la disposición manifiesta de los factores que forman parte de los enunciados y pueden ser opacos a los errores de composición sin un intenso trabajo de corrección, el razonamiento icónico está ligado de forma más cercana a las competencias representacionales. Esto se debe a que la representación icónica hace uso de recursos del sistema neurológico sensoriomotor, que está desarrollada por razones evolutivas de forma significativamente alta en contraste a otros aparatos cognitivos. Barsalou, en consecuencia, concluye que no sabemos con certeza cómo funcionan las representaciones, y si bien sabemos que hay multimodalidad (ya que existen modelos con elementos proposicionales y amodales), es claro que existe una marcada tendencia a operar dentro de un régimen icónico a nivel racional

¹³ Quisiera resaltar algo relativo a este punto que se escapa de la meta de la tesina, pero que llamó mi atención, que tiene relación con la visión de Nersessian respecto a los modelos. Nersessian clasifica a las representaciones icónicas como demostrativas y analógicas y a las representaciones proposicionales como descriptivas y arbitrarias (Sección 4.2 de *Creating Scientific Concepts*). Es curioso que Nersessian defina a los modelos, la definición en principios de este capítulo, con ese mismo atributo, analógicos. Adicionalmente, especifica que los modelos "representan demostrativamente" (*Op. cit.*, p. 179), que es claramente una característica de los modelos icónicos. Si bien Nersessian repite en varias instancias que los modelos mentales no son solo analógicos, pareciera ser que para Nersessian la noción de "modelo proposicional" es contradictoria. La alternativa a esta lectura es que la definición de modelo icónico de Nersessian sea circular.

¹⁴ El texto original es "*Situated simulation in the human conceptual system*", en *Language and Cognitive Processes*.

(Nersessian 2008, p. 125). Dada esta conclusión, el desarrollo de los modelos icónicos como vehículo de razonamiento adquiere una fuerza significativa.

3.2.5. Hipótesis del continuo

Nersessian sitúa la causa de la potencia del razonamiento icónico en una estructura suplementaria a la memoria de trabajo que facilita específicamente la manipulación de estructuras sensoriales, pero ese suplemento no se encuentra entre los tipos de memoria cubiertos en el ámbito antes comprendido como memoria a largo plazo, sino que lo coloca entre las competencias del sistema sensoriomotor. El estudio de Barsalou despeja incógnitas respecto a la causa detrás de esta economía de las representaciones icónicas, que abre la puerta a Nersessian a proponer una hipótesis de continuidad entre la resolución de problemas concretos y la elaboración de experimentos científicos mentales.

Las investigaciones de Barsalou (1999) revelaron que exponer representaciones visuales de operaciones técnicas complejas (acciones en movimiento, en este caso), además de activar las zonas del cerebro asociadas al razonamiento analítico, también generan actividad en estructuras cerebrales asociadas a los aparatos motrices ligados a las tareas de su pericia. Esto conduce a pensar que existe una conexión entre los aparatos racionales de la cognición y los recursos de los aparatos motrices del cerebro. La apuesta es que detrás de la utilización de estructuras modales existe una batería sustancial de recursos cognitivos de imaginación y cálculo¹⁵ ligados a las facultades corporales de control espacial que, por expresarlo de un modo, son más sencillos de llevar a cabo como

¹⁵ Recordemos que existe una fuerte capacidad de cálculo espontáneo ligada a nuestras capacidades de manipulación mental espacial. Esta capacidad se puede ver en práctica en adultos al imaginar si cabe o no un mueble por una puerta (y qué posición debe usarse para ello), en niños pequeños al imaginar si una forma geométrica tridimensional cabe dentro de una ranura de formas geométricas (¿cabe este cubo en la ranura con forma de triángulo?), en jóvenes al calcular si logran atravesar la calle con un semáforo en rojo sin ser atropellados por el auto que se acerca y en personas de todas las edades al calcular la coordinación necesaria para mover un pie junto al otro al mismo ritmo sin caerse.

actividad mental en la medida que aceleran y facilitan la manipulación simbólica. Nersessian estima que la fuente de esta capacidad no se encuentra en la memoria a largo plazo ni se encuentra en las memorias episódicas o semánticas¹⁶, sino que en un "conocimiento tácito" (Nersessian 2008, 105) que se origina desde el sistema sensoriomotor mismo. Ella indica que hay un proceso de razonamiento en donde los recursos de la percepción se disponen al servicio de la configuración de modelos, lo que facilita el procesamiento realizado en la memoria de trabajo al usar la capacidad del sistema sensoriomotor, usando "la sabiduría del cuerpo" como soporte de la resolución de problemas al incorporar mecanismos del cuerpo "dispuestos en torno al servicio del pensamiento creativo" (*Op. cit.*, 111). Esta propuesta no es nueva dentro de la disciplina: Johnson y Lakoff en *Metaphores we live by* ya habían propuesto que el modo en el cual se desarrollan los procesos cognitivos está mediado por las estructuras fisiológicas del hombre, las cuales actúan como un andamiaje para nuestra interacción con el espacio que nos rodea y, más importante aún, rigen el modo en el que interpretamos e internalizamos los datos recabados por los sentidos.

Esta capacidad de imaginación y cálculo descrita por Barsalou actúa como un *buffer* informático, es un soporte de recursos cognitivos adicionales orientado a facilitar ciertas operaciones de resolución de problemas. Al contar con este soporte de recursos adicional, la mente contaría con un excedente para poder resolver los problemas asociados al dominio del movimiento y el dominio visual, que permitirían realizar operaciones más complejas con menos agotamiento. Esta configuración mental alimenta a las animaciones de modelos y, por lo tanto, sustenta a los experimentos mentales.

Extrapolando más allá, Nersessian sugiere que esto es posiblemente el resultado de la necesidad evolutiva de nuestros antepasados de contar con un

¹⁶ Si Nersessian plantease que este potenciador de cálculo se encuentra en la memoria episódica, la cual requiere para la incorporación de datos que se desarrolle una depuración de la experiencia subjetiva para su codificación, esto significaría que tenemos razones para suponer que los modelos mentales posicionales son más fáciles de desarrollar de lo que indica Barsalou.

mecanismo de procesamiento potente de manipulación de objetos en el espacio para fines de supervivencia. Esta capacidad sería el producto de decenas de miles de años de perfeccionamiento. De ser así, razona, es probable que nuestra capacidad de resolver problemas corporales en el espacio, la imaginación perceptual, la elaboración de representaciones icónicas y los experimentos mentales rigurosos y complejos de los científicos sean todas partes de una sola continuidad de competencias humanas. Esta propuesta la llama *hipótesis del continuo* y se sintetiza en que los íconos tienen mayor fuerza expresiva, ya que las representaciones icónicas codifican y generan oportunidades para contenidos en la imaginación gracias al préstamo de recursos de los mecanismos motrices que, si se quisiera representar con enunciados proposicionales, sería necesario definir exhaustivamente proposición por proposición.

3.2.6. Acoplamiento de representaciones internas y externas

Dada la capacidad supuesta dentro de la hipótesis del continuo respecto a las oportunidades que otorgan las representaciones sensoriales para la construcción de elementos en la memoria de trabajo, se abre la pregunta respecto a la interacción posible entre los procesos de resolución de problemas con los instrumentos externos. Nersessian pone en duda la noción tradicional del razonamiento como dado estrictamente "en la cabeza" del agente. Tomando en consideración la hipótesis del continuo, es de esperar que se puedan obtener enormes ventajas en el procesamiento cognitivo de recurrir al sistema perceptual para poder apoyar la resolución de problemas, no solo conteniendo datos en la cabeza, sino que usando elementos externos como estímulo persistente para poder manipular datos sin tener que generar la representación desde la nada. Esta posición, sostenida con anterioridad por Hegarty (Nersessian 2008, 115), es denominada *acoplamiento interno-externo de sistemas*.

Los sistemas acoplados aluden al fenómeno en el que se conectan recursos de razonamiento internos con dispositivos externos, de manera que el proceso de razonamiento ocurre en un continuo entre los datos contenidos en la memoria de

trabajo y las herramientas externas que funcionan como facilitadoras de retención de datos, lo que genera, en consecuencia, acoplamiento de funciones cognitivas. Esta visión implica, de acuerdo a Nersessian, el repensar la conceptualización tradicional de la memoria como algo que ocurre solamente en el interior de una persona de forma totalmente aislada de factores externos, al distinguirse la insuficiencia de esa visión. El pensamiento ocurre no en la mente o en los objetos externos, sino que, como indica Nersessian, en el sistema. Esto es, en una red interconectada entre la mente y las herramientas dirigidas a potenciar sus capacidades, como los cuadernos o las calculadoras, lo que hace necesario perfilar tanto la memoria como el razonamiento en un contexto que incorpore todos estos elementos. Los elementos de soporte, las herramientas que mencionamos, actúan como soporte epistémico para el razonamiento. Su condición de soporte depende de la manera que la cultura utiliza estos instrumentos, de modo que existe una dinámica entre la cultura y los dispositivos epistémicos. Cuando una cultura acepta un dispositivo de estas características y lo masifica, pasa a considerarse un *artefacto epistémico*, como es el caso de los ábacos, ciertos sistemas de soporte de información y toda la amplia variedad de software informático que se preocupa de procesar grandes volúmenes de datos de modo que la persona que usa tal sistema pueda concentrarse en obtener conclusiones de esos volúmenes de *big data* en lugar de contener y computar tal vastedad de información.

3.2.7. Introducción a la construcción de modelos de Morgan y Morrison

Morgan y Morrison, por otra parte, tienen una visión distinta respecto a la naturaleza del proceso en el cual se construyen modelos. Ellas recogen las nociones de Hesse respecto a la analogía y la aplican como instrumento de creación analógica del mismo modo que Nersessian lo hace, pero la perfilan como solo uno de los métodos de confección de modelos. Morgan y Morrison tienen una segunda plataforma de formación inspirada en la noción de *modelos como simulacro* de Nancy Cartwright (Morgan y Morrison 1999, 13), revisado por conclusiones del estudio de Marcel Boumans. La noción de Cartwright es una forma de resolución

del problema planteado por la visión sintáctica respecto a la conexión entre teoría y mundo, ambos desconectados por el alto grado de abstracción que define a la teoría. Esta solución consiste en la creación de modelos mediante la conexión entre datos empíricos y teoría desarrollada gracias a *términos puente* de esta. Los términos puente son conceptos de la teoría que son compatibles con los datos empíricos y que ayudan a interpretar la teoría con esos datos empíricos en mente (Giere 2008). De este modo, los elementos relevantes para la construcción de modelos son, por una parte, aspectos empíricos, que son tipos de datos utilizados por la teoría, y, por la otra, aspectos teóricos, las partes de la teoría que usan los datos empíricos indicados anteriormente. De haber presencia de los elementos descritos, se establece ese término teórico como puente y se puede articular la teoría en torno a esos datos empíricos específicos.

Boumans tiene una posición coherente con la de Cartwright, pero sugiere un proceso práctico mucho más desordenado y menos simétrico. En lugar de tener un término que se asocia con un aspecto empírico para formar un puente, tenemos varios elementos de la teoría, varios elementos empíricos y elementos ajenos a la teoría, que incluyen una metáfora unificadora (Boumans 1999). La metáfora tiene la función de organizar esta gama de datos en torno a una idea que les da un relato, un relato externo a fenómeno y teoría. El relato tiene el propósito de orientar a la mente a visualizar a la teoría de un modo que facilite su aplicación al restringir los usos incorrectos del modelo gracias a nuestra experiencia cotidiana con la conducta regular de los objetos descritos por el relato. Por ejemplo, las complejas fluctuaciones de los precios de los productos en torno a las variaciones de otros productos que intenta explicar Ising con su modelo (Morgan 1999) es mucho menos tratable para la mente si no se presenta la metáfora de la balanza, lo cual genera un relato de equilibrio entre los elementos gracias a nuestra experiencia con el comportamiento de las balanzas. Dada la heterogeneidad de elementos de construcción descrito por Boumans, no existe una receta o un procedimiento claro, no hay algoritmos de construcción de modelos (conclusión con la cual Nersessian concuerda). Es una suerte de sensibilidad constructora de modelos, un atributo analogable a la sensibilidad artística, el atributo personal que debe tener el

constructor de modelos. Esta heterogeneidad constructiva es importante para la noción de autonomía funcional de los modelos que se describe en el capítulo siguiente.

Si bien hay una marcada diferencia entre lo expuesto respecto a la estructura teórica entre Morgan y Morrison y Nersessian, que alcanza su cenit en la discrepancia del papel analógico en sus posiciones, queda presente que un punto de considerable importancia, la noción de elemento narrativo externo al modelo mismo y a los fenómenos con los cuales opera que da significado a la organización, tiene un rol importante en ambas posiciones.

3.2.8. Estructura conceptual de Morgan y Morrison

Desde la mirada de Morgan y Morrison, la construcción de modelos es una habilidad tácita, producto de la sensibilidad del creador del modelo para captar los elementos importantes a representar (Morgan y Morrison 1999a, 12) y lo elevan a la calidad de arte en contraste a una técnica, más metódica y menos sensible. Ellas consideran que los modelos se instalan fuera de una linealidad mundo - modelo - teoría: de acuerdo a lo establecido dentro de la visión semántica de las teorías, el modelo actúa como el puente entre teoría y mundo y está establecido de forma fija en este rol. Morgan y Morrison inician su discusión de los modelos indicando que, de acuerdo al orden de la visión semántica, hay una relación jerárquica en la que la teoría determina al modelo, pero esa visión estaría equivocada.

La posición de Morgan y Morrison es que, dada la configuración heterogénea descrita por Boumans, existe realmente una conexión entre modelo y teoría, pero esa conexión es mucho más débil que lo descrito en la visión semántica, dado que hay componentes externos, como las metáforas, que los alejan de la teoría. Adicionalmente, los modelos también pueden servir para corregir teorías, lo cual debilita su rol subordinado a ellas. De este modo, los modelos serían autónomos de las teorías. Sin embargo, esta autonomía no es plena, pues debe haber presencia de algún grado de conexión entre los modelos y el fenómeno con la teoría para que

estos tengan alguna capacidad explicativa que no se remita a un sistema imaginario autoconsistente. Este argumento se denomina *principio de independencia parcial de los modelos*. Bajo este argumento, Morgan y Morrison indican que la visión semántica de los modelos es imprecisa y debe replantearse. En efecto, el rol de los modelos no es solo articular teorías sino que también actuar como instrumentos de distintos tipos, como artefactos de medición, como herramienta de diseño, como dispositivos de intervención, es decir, son mecanismos que articulan el *principio de representación de los modelos*. La facultad de representación de los modelos se debe al *principio de autonomía funcional*, que implica que los modelos pueden usarse en independencia de la teoría original con la cual se construyeron y permiten incluso cotejar la precisión de estas mismas teorías. Este principio se funda y recibe su sustento en la independencia parcial; sin ella, los modelos estarían sujetos a los valores teóricos indicados por Cartwright, de modo que no podrían servir como herramienta de análisis y prueba de sus propias teorías.

Es importante notar en este punto que, en la práctica, la visión de Morgan y Morrison de dos métodos de construcción analógica es subsumible dentro de la visión de construcción de Nersessian. De acuerdo a esta última, una de las funciones de la metáfora es transformar representaciones proposicionales en icónicas. La metáfora toma datos inconexos en apariencia o en práctica y funciona como un elemento que les otorga cohesión dentro de la imaginación, generalmente haciendo uso de figuras fuertemente representadas en la conciencia: los péndulos son un ejemplo que actúa como metáfora de los osciladores armónicos, el círculo en la economía es una metáfora del el proceso macroeconómico de transferencia de dinero. Todas esas metáforas transforman información abstracta y la exponen de una forma más tratable para la memoria de trabajo. La razón por la cual la metáfora es unificadora de acuerdo a la noción de Boumans es precisamente por la razón expresada arriba: porque la metáfora organiza en torno a relatos simbólicos que se apoyan en objetos de experiencia. La metáfora genera un relato que posibilita la activación de los recursos del sistema sensoriomotor. Pensemos en el ejemplo de la balanza indicado anteriormente: la fuerza del modelo radica en las oportunidades que entrega la figura de la balanza, dado que tenemos una

experiencia con la balanza y esta experiencia nos conduce a recurrir a nuestro sistema sensoriomotor y facilita la simulación del modelo gracias a esos recursos y esas experiencias. Los argumentos de Boumans sobre el proceso analógico que perfilan el trabajo de Cartwright sobre el modelamiento como simulacro se perfilan sumamente compatibles y similares en resultado al trabajo descrito por Nersessian. Para que ocurra esa incorporación metafórica descrita por Boumans en la formación de un modelo requiere de antemano un proceso de creación analógico, dado que tiene que existir necesariamente un proceso de transferencia satisfactorio que permita la transmisión de conceptos que actúen como constreñimientos para que el modelo represente adecuadamente un fenómeno. De no ser así, no se podría garantizar que el modelo con figura metafórica articuladora se comporte de forma similar al fenómeno que se desea explicar. En resumen: donde Morgan y Morrison distinguen dos mecanismos de creación de modelos, uno de conexión de términos teóricos y empíricos y otro de analogía más directa, Nersessian contempla solo uno, pero que comprende a todos los elementos al mismo tiempo de forma organizada y sistemática.

3.2.9. Síntesis de sección

A lo largo de la sección 3.2 se ha explorado el funcionamiento del aparato cognitivo como antesala del proceso de manipulación y creación de modelos, sin detenerse en la preparación o uso de modelos mismos. En síntesis, los sentidos estimulan al aparato sensoriomotor, el cual transduce la información perceptual a símbolos residentes en la memoria operativa, en donde se reorganizan dichos símbolos en estructuras simbólicas. Estas estructuras simbólicas se reorganizan al modificar los contenidos simbólicos, actualizando las estructuras. Dichas estructuras representacionales pueden clasificarse por el modo en el cual presentan su información, como icónicas o proposicionales, dependiendo de si son representaciones organizadas por datos presentados como información analizable de forma perceptual o lógica, respectivamente. En forma muy similar al análisis desarrollado sobre las estructuras representacionales completas, podemos

distinguir las unidades conceptuales o simbólicas que las componen como modales o amodales, para datos que son representaciones simples perceptuales o unidades básicas lógicas o lingüísticas, respectivamente.

Nersessian apuesta a que por motivos de las estructuras cognitivas potenciadas en el desarrollo evolutivo de nuestra especie, la creación de representaciones icónicas es mucho más económica en términos de conservación de recursos energéticos y de capacidad de almacenamiento de datos en la memoria de trabajo que la creación de representaciones proposicionales, independientemente de si son modales o amodales. El andamiaje de la mente que comprende la conexión del razonamiento con los mecanismos de resolución de problemas de tipo espacio-corporal cotidiano, da sustento al supuesto de que los soportes externos del proceso de razonamiento, como el uso de diagramas o dispositivos representativos físicos no son apéndices en la manera en la que pensamos. Por el contrario, son parte integral del pensar, planteando un desplazamiento del pensamiento desde algo únicamente emplazado en la mente hacia una red entre los soportes de información y la mente.

Todo esto da a entender que la analogía es crucial para la noción de Nersessian respecto a los modelos, mas no es así para Morgan y Morrison, donde el papel más importante de construcción de los modelos surge de la unión de teoría, datos empíricos y un relato que cohesiona todo en un relato con formulaciones lógicas y conexión al mundo. Esta noción de relato como cohesionador de conceptos también está presente en Nersessian, de modo que hay un punto en común importante presente en ese dominio.

Los contenidos desarrollados en este capítulo hasta este punto han permitido exponer una idea acabada del escenario mental en el que ocurren los modelos mentales, la conceptualización la naturaleza de los modelos y las propiedades de los mismos a nivel estructural, con un visible predominio de los contenidos asociados a la teoría de Nersessian. Morgan y Morrison también se preocupan de los procesos de creación de los modelos, pero mientras Nersessian se preocupa del ambiente mental de la construcción y de sus consecuencias en la estructura de

los modelos, Morgan y Morrison se enfocan en el modelo como sujeto, como un algo que recibe componentes y elementos y lo conforman, independientemente de los procesos cognitivos asociados a la creación de ellos. Veremos más detalladamente las visiones de Morgan y Morrison en la siguiente sección, dedicada a entender los modelos no desde su ambiente generativo, sino que desde el desarrollo enfocado en el modelo mismo.

3.3. Esquema de composición y construcción de modelos mentales

Para analizar un modelo, de modo de poder discernir la manera en la que este analiza la operación de un fenómeno o teoría, es necesario estudiar el modo en el que los modelos se construyen. La función de los modelos como herramientas es un aspecto importante de estos, pero una parte significativa del conocimiento derivado de los modelos mentales se origina en su construcción.

Morgan y Morrison ilustran en su ensayo *Models as Mediating Instruments* (1999a) una estructura de los elementos básicos para poder analizar los modelos desde sus componentes. Si bien no hay una pretensión de las autoras de exponer estos puntos como un mapa del funcionamiento de los modelos, nos resultará práctico para empezar a distinguir entre la visión de las autoras antes mencionadas y Nersessian. Estos son:

1. *Construcción*, donde se detalla la naturaleza heterogénea de su composición.
2. *Funcionamiento*, donde se analiza su uso instrumental.
3. *Representación*, donde se explica la forma de obtener información del mundo y de las teorías derivada de los modelos.
4. *Aprendizaje*, donde se explica en más detalle el modo en el que ocurre el aprendizaje durante el desarrollo de los anteriores y durante la aplicación de los modelos.

La pertinencia de esta distinción está en que no solo es un listado de organización de su ensayo, también insinúa una descripción de las etapas del

trabajo en modelos desde el punto de vista de las autoras. Considerando que el último punto es una explicación más acotada de los procesos que ocurren durante el trabajo con los modelos en general, podemos sintetizar el proceso de trabajo con modelos en los tres primeros: construcción, funcionamiento y representación.

A su vez, Nersessian también entrega un esquema general del funcionamiento de los modelos (2008, 184-185). Esta estructura es la siguiente:

1. *Construcción*, correspondiente a la etapa inicial, donde se selecciona el dominio fuente y los primeros constreñimientos para un modelo tentativo.
2. *Abstracción*, donde se seleccionan y se fusionan los constreñimientos del dominio fuente y el fenómeno.
3. *Simulación*, que permite emular el modelo representado en aplicación, con la consecuente revelación de constreñimientos de los dominios fuente o meta, además la detección de nuevos elementos salientes.
4. *Evaluación*, etapa en la que se analiza la adecuación del modelo, su poder explicativo y su adecuación representacional, esto último en el caso que se represente un fenómeno no formalizado o con una conceptualización pobre. En caso que sea satisfactorio, el proceso termina en esta etapa.
5. *Adaptación*, etapa en la que se corrigen los elementos imprecisos vistos durante la evaluación.

Dado que existen semejanzas, pero no simetría plena entre ambas conceptualizaciones del proceso de creación de modelos de acuerdo a Nersessian y Morgan y Morrison, en las siguientes secciones analizaremos sus perspectivas incorporando estas dos estructuras en una sola, sin ánimo más que facilitar la lectura de estas visiones lado a lado. De este modo, se tratará de exponer ambas conceptualizaciones de modelos, su uso y configuración, de modo de observar cómo se alinean y tomar nota de las discrepancias y las coincidencias de forma sistemática.

3.3.1. Recuperación de conceptos

El proceso de la construcción de un modelo da inicio con la *recuperación*. Esta etapa es el momento que sigue a la identificación de una posible analogía entre un fenómeno del cual tenemos escaso conocimiento y un fenómeno que entendemos más cabalmente. En este caso, el entendimiento de este fenómeno conocido se representa a través de la existencia de un modelo o teoría previa que despeja una parte importante de los rasgos que deseamos entender. Este modelo o teoría se establece como dominio fuente de conceptos que se proyectarán posteriormente al fenómeno desconocido mediante la construcción del dominio meta a través de la selección de elementos salientes, como se llama a los aspectos que resaltan a la persona que establece la analogía como relevantes para elaborar una comparación, de ambos dominios.

La recuperación es el proceso de la selección de los conceptos relevantes de los fenómenos o teorías involucradas en el proceso de creación de modelos. Recordemos, como se vio en la sección 3.2.3, que la definición de los conceptos es un problema. Nersessian acusa que definir "concepto" como "elemento con condiciones suficientes y necesarias" es inadecuada para referirse a los verdaderos contenidos que se dan en la mente a los cuales nos referimos con la idea de concepto. Su visión es que dentro del marco de la filosofía posterior a la visión semántica, las propuestas para una definición de "concepto" se remiten a especificar un aspecto específico de lo que es un concepto, no se desarrolla una noción integral¹⁷. En vista de esto, Nersessian no pretende dar una definición universal para los conceptos, sino que se limita a expresarlo dentro del contexto de los modelos mentales. En este ámbito, Nersessian los define operativamente como esquemas, marcos dinámicos o estructuras cognitivas idealizadas y, en el caso más específico de los modelos mentales en su papel de oportunidades de la creatividad científica, los define como constreñimientos de la generación de miembros de una

¹⁷ "There is as yet no consensus concept of 'concept' in cognitive science or in philosophy of science. Formal proposals and critiques of alternative views are usually dependant on the purposes concepts serve in a particular analysis" (Nersessian 2008, 187).

clase de modelos. Esto es: en esta etapa se escogen los elementos que rigen qué es lo que no se aplica en el modelo, delimitando todo lo que está presente tanto en el dominio fuente como el meta y se eliminan exactamente todos los elementos ajenos a lo definido por el conjunto de conceptos.

Las representaciones mentales están compuestas de varios símbolos o conceptos. De todos ellos, se escogen los que resaltan por entregar luces del fenómeno que se estudia. En más detalle: se buscan símbolos o conceptos que aparecen como interesantes porque (i) hay un par común en el otro dominio (analogía positiva), porque (ii) hay un par contradictorio en el otro dominio (analogía negativa) o porque (iii) no existe claridad si hay un par en el otro dominio o hay un símbolo o concepto en uno de ellos que nos hace replantearnos ambos dominios (analogía neutra). Estos elementos importantes relativos a un aspecto específico del fenómeno que se busca explorar, explicar o aclarar en un contexto dado son los elementos salientes; estos son la materia prima de la creación analógica de modelos. De este modo, se genera un escenario en donde existen dos elementos contrapuestos en torno a esas semejanzas: el dominio fuente, que es rico en información conocida, y el dominio meta, que es el que deseamos despejar. Sin embargo, en un estado carente de modelos desde los cuales identificar relaciones analógicas, la identificación de elementos salientes es más difícil de lo que podría suponerse en un principio. Los experimentos de Gick y Holyoak, en 1980, donde se presentan una historia con un problema y otra historia estructuralmente similar con la solución bajo la forma del tratamiento de un tumor y un asedio a una fortaleza, revelan que el proceso de reconocimiento de los datos salientes para realizar una analogía en el caso en el que solo se indica el fenómeno que se quiere dilucidar, por ejemplo, al indicar claramente solo un problema y no indicar las herramientas con las que se cuenta para poder aplicar una analogía, es mucho más exigente en esfuerzo mental que al tener en mano las herramientas analógicas del dominio fuente explicitados en lenguaje claro.

Morgan y Morrison resaltan que, en la metodología analógica de construcción, nada obliga al creador de modelos a usar solo elementos del dominio

fuente y del dominio meta, es posible agregar elementos nuevos como enfatizadores. Los modelos, de acuerdo a su perspectiva, se conforman de varios elementos distintos: formalizaciones matemáticas, datos de la teoría, datos del fenómeno, datos potencialmente ajenos a la teoría y el fenómeno y una metáfora que dé forma y cohesión a todos los elementos anteriores (Boumans 1999) con el fin de poder enmarcar una clase de fenómenos para una teoría. Eso tiene como consecuencia que al importar elementos nuevos se estén agregando nuevos componentes al ejercicio analógico: los elementos metafóricos traen sus propias oportunidades y constricciones, que pueden ser distintas a las de los dos dominios presentes. Una buena construcción analógica implica que en esta etapa se tenga conciencia de las nuevas variables que se están integrando y no ingresar elementos analógicos negativos que pudiesen generar confusión y equivocar los pasos siguientes del desarrollo de la analogía.

3.3.2. Abstracción

La etapa de *abstracción* se inicia posteriormente a la etapa de la recuperación. Una vez identificados los elementos salientes, se reduce el dominio fuente a elementos abstractos pertinentes al problema específico para preparar su mapeo y transferencia. Morgan y Morrison lo distinguen de una visión tradicional indicando que toda clase de abstracción en los modelos implica una reducción de contenido hasta representar solo los aspectos más relevantes y omitir los innecesarios:

No usamos la noción de "representación" para referirnos estrictamente a casos donde existe una suerte de replicación (*mirroring*) de un fenómeno, sistema o teoría en un modelo. En lugar de esto, se entiende una representación como una suerte de reproducción (*rendering*), una representación parcial que puede ser una abstracción o traducción a otra forma, una que encarna la naturaleza real del sistema o de la teoría, o una que puede encarnar solo una porción del sistema (Morgan y Morrison 1999a, 27).

Tanto Nersessian como Morgan y Morrison indican que la importancia de la abstracción está en economizar el esfuerzo de la construcción del modelo. Una crítica tradicional a la función epistémica de los modelos mentales es que no es posible ni deseable replicar pictóricamente un fenómeno del mundo en el pensamiento, tales imágenes no pueden ser isomórficas con las teorías o los fenómenos, como acusa la crítica de Pylyshyn (Johnson-Laird 2004, 185). Esto es correcto en un aspecto: es cierto que representar un objeto o fenómeno del mundo en la mente con completa fidelidad es dudosamente alcanzable a medida que aumenta la complejidad de la representación. Sin embargo, los modelos no tienen la finalidad de representar de forma idéntica las ocurrencias de los fenómenos. Más bien, al aproximarse a aspectos de los fenómenos sin pretender englobar el fenómeno por completo, captan una forma esquemática de este. Esto no es un problema, sino que una virtud: sin esa pesada carga cognitiva de la retención de los detalles innecesarios se puede manipular y modificar el modelo más fácilmente, de modo de explorar sus posibilidades.

El proceso de abstracción es necesario, los modelos no recogen la totalidad del dominio fuente para incorporarlo a la memoria de trabajo. En este proceso se toman los aspectos salientes y se suprime el resto de los elementos innecesarios, de manera de disminuir el peso cognitivo de la representación y revelar las relaciones entre los elementos más significativos del dominio fuente. Consideremos que las representaciones, como ya se dijo antes, son formas esquemáticas y abreviadas, de modo que la abstracción tiene como resultado del proceso una representación en extremo despojada de excedentes. El objetivo aquí no es asegurar la veracidad de los modelos al pretender lograr isomorfismo pleno entre el mundo o la teoría y el modelo, lo cual implicaría representar o reproducir mucha información innecesaria, sino que focalizar la atención en ciertos rasgos específicos del dominio fuente de modo de poder permitir una representación que permita después un mapeo y transferencia claros. Considerando lo anterior, la abstracción asegura en el futuro del modelo un valor de independencia y facilita la posterior transferencia del modelo a terceras personas, al reducir el tiempo de explicación y detalle al mínimo.

Nersessian profundiza en las características de la abstracción al detallar los tipos de mecanismos que se usan para este fin. Dentro de los varios métodos de abstracción utilizables para poder simplificar los datos, resalta la *abstracción genérica*, que se entiende como la transformación simplificadora de la representación a su expresión menos específica y más genérica. Esta se diferencia de otras herramientas de abstracción como (i) la *idealización*, que se realiza al abstraer los valores matemáticos; (ii) el *caso limitante*, donde se reducen las iteraciones complejas de instanciaciones a una sola instanciación simple y se asume que esa instanciación única es representativa del universo de posibilidades; y (iii) la *aproximación*, donde se utiliza un estándar que sirva como promedio de todos los valores que forman parte del universo posible de instancias de ese valor. La abstracción genérica, a diferencia de estas, se abstrae y elimina las diferencias para resaltar los atributos más generales de un aspecto representado. Esta generalización facilita el mapeo posterior, al simplificar el contenido y transformar los datos sensoriales o los símbolos a un esquema más básico, que pone en evidencia las estructuras relacionales que se deben observar para desarrollar analogías estructurales.

Esta facultad de abstracción es indispensable para una función vital de los experimentos mentales: la capacidad de poder representar situaciones hipotéticas, lo que resulta tremendamente útil para desarrollar aquellos que son muy difíciles de desarrollar materialmente. Parte de la función de abstracción en la construcción de modelos contempla la posibilidad de eliminar los rasgos innecesarios de un fenómeno, para desentenderse de constrictores que no afectan directamente al desarrollo de un proceso, pero que pueden intervenir en las posibilidades de que esto ocurra en el mundo, como es el caso del experimento mental de Einstein de hallarse encerrado en el vacío dentro de una caja que se aproxima a la velocidad de la luz. En ese experimento mental son irrelevantes las condiciones de la persona en la caja, si puede o no respirar, todas esas preocupaciones son secundarias al objetivo del experimento, el cual es estudiar lo que ocurre con los cuerpos en la cercanía de velocidades relativas. La cantidad de operaciones relacionadas con la imaginación, proyección, análisis y regreso a la representación de los modelos

mentales para verlos en posiciones posteriores hace que sea improbable que se desarrollen de forma proposicional, considerando el valor del aprovechamiento del aparato cognitivo visualizador. De este modo, los modelos sirven, como indican Morgan y Morrison, para conectarse en algunos casos con lo empírico, pero sus aspectos más únicos, los experimentos mentales desconectados de la posibilidad de práctica empírica, los transforman en una herramienta más abierta de lo que ellas indican.

3.3.3. Construcción, mapeo y transferencia

Una vez que se tiene en mano los elementos que componen el modelo sin elementos innecesarios o distractores para la analogía, se procede a la construcción del modelo. Para esto, se hace una correlación entre los puntos analogables del dominio fuente con los del dominio meta en lo que se denomina proceso de mapeo. Ya mapeados los puntos que lo permiten, se hace la transferencia hacia el dominio meta y se concreta la analogía: se conectan las propiedades entre los dominios. Esta transferencia de conceptos o símbolos reflejan las relaciones que existen entre ellos, los cuales forman el andamiaje del modelo.

Hemos hablado en el desarrollo de esta segunda mitad del capítulo acerca de la construcción de modelos en cuanto al desarrollo general de un modelo, pero ahora nos referimos a una etapa concreta de construcción. En términos generales, el proceso de *construcción*, de acuerdo a Morgan y Morrison y Nersessian, se distingue del marco general de construcción de modelos en cuanto a que en esta instancia específica se origina una primera tentativa de modelo a partir del resultado de la transferencia. En esta etapa los relatos adquieren importancia. El relato es el símbolo orientador de la construcción de modelos, por lo habitual independiente a la teoría o fenómeno analizado. De acuerdo a Morgan y Morrison, el relato es el resultado de la inclusión de la metáfora a los datos heterogéneos que conforman los modelos. Nersessian entiende que el relato ayuda a perfilar los atributos relevantes de todos los elementos del fenómeno que se desea dilucidar. Independientemente de la diferencia, todas consideran que el relato conduce el

razonamiento posteriormente y que es de tremenda ayuda. Un ejemplo que ilustra cómo los relatos dirigen la construcción es el caso de la balanza de Ising, que se utilizó como una representación icónica para retratar el proceso de variación de costos de los productos de consumo y su relación con el flujo de dinero en el mercado (Hughes 1999). Dicha figura metafórica de la balanza orienta la construcción del modelo y es un indicio para entenderlo con mayor facilidad. La incorporación de estos relatos a los modelos, que pueden ser descripciones acotadas o narraciones muy complejas, orientan su representación para facilitar su manipulación. Nersessian indica que para esta etapa lo que debiera consolidarse para facilitar el descubrimiento científico es un modelo icónico que permita explotar al sistema sensoriomotor con el objetivo de realizar las animaciones a las que posteriormente se someterá al modelo.

En el proceso de *mapeo* se procede a identificar las estructuras analogables entre el dominio fuente y el meta, lo que implica analizar los puntos de contacto analógicos positivos que posibilitarían una transferencia. También es posible que se puedan apreciar asimetrías en las representaciones: elementos en el dominio fuente, por ejemplo, que no tienen análogo en el dominio meta o elementos con respecto a los cuales no se está seguro si son realmente compartidos. Hallar analogías neutras o negativas no debe entenderse como un fracaso en el desarrollo del mapeo, estos son de gran interés para despejar interrogantes (Hesse 1966). Mientras los productos de las analogías positivas y negativas actúan como confirmadores de nuestros supuestos (es decir, nos permiten identificar cuáles son las propiedades de un dominio que hallan un par en el otro dominio y cuáles no), los productos de las analogías neutras abren puertas a la imaginación e instalan conceptos nuevos sin una participación del constructor del modelo. Las analogías neutras invitan a buscar analogías y conocimientos inesperados en aspectos del dominio meta, incrementando las posibilidades de distinguir elementos antes imprevistos en espacios específicos del dominio fuente.

Adicionalmente a este comportamiento normal de la posición de Hesse, que Nersessian replica, Morgan y Morrison agregan elementos nuevos. Ellas indican

que la incorporación de los elementos heterogéneos conducidos por un relato, parte de la noción de construcción de modelos que contempla la visión de Cartwright matizada por Boumans, añade al proceso nuevas analogías negativas que entregan más datos para orientar la interpretación del modelo (Morgan y Morrison 1999a, 16). La balanza de Ising sirve nuevamente como ejemplo: el fluctuar de la economía puede analogarse con las oscilaciones de la balanza, la noción de que la posición en la cual los pesos se cuelgan a la balanza, lo que afecta el comportamiento de una balanza al hacer menos sensible el agregar pesos, pueden encontrar análogo en modos de tratar los costos de los productos que metafóricamente "se cuelgan" a la balanza del flujo del mercado. Así, la incorporación de elementos ajenos a la teoría y al fenómeno empírico que se buscan conectar genera nuevos factores analógicos. Nersessian coincide: la función del relato bien desarrollado en el modelo es el de proporcionar constreñimientos a datos irrelevantes y de otorgar oportunidades para la reconstrucción mental del modelo en terceros que no tienen el modelo en mente en primer lugar.

Después del proceso de mapeo, donde se relacionan los puntos analogables entre el dominio fuente y meta, se procede a hacer la *transferencia* de contenido, donde se lleva a cabo la comparación de los elementos analizados en el mapeo, lo cual rellena de contenidos del dominio fuente las categorías confusas del dominio meta. Es vital notar en este punto una de las propuestas importantes de Nersessian. Ella indica que la transferencia no es un proceso que se realice desde dos y solo dos conjuntos de fenómenos, modelos o teorías, enmarcados bajo la rúbrica de dominio fuente o meta. Dado que nuestra ignorancia del fenómeno efectivamente limita nuestra capacidad de reconocer sus propiedades, lo que restringe la capacidad de hacer un mapeo satisfactorio, el dominio meta al que se hace la transferencia no es el fenómeno mismo, sino que a un tercer elemento de la analogía, el *modelo híbrido* en donde se construyen formas esquemáticas de los puntos de contacto entre el dominio fuente y el fenómeno meta. Este modelo híbrido es un bosquejo donde los constreñimientos del dominio fuente, que conocemos bien, y el dominio meta, del cual tenemos un grado variable de conocimiento, dan lugar a una tentativa de modelo desde el cual interpretar el dominio meta, ya que es

improbable que se concrete una analogía perfecta desde el primer momento de la transferencia. El modelo híbrido, relleno de constreñimientos, en general es transitorio. Requiere pruebas para ver si soporta transferencias de forma plena e informativa. Eso implica que debe evaluarse de algún modo.

3.3.4. Evaluación y adaptación

Desde esta fase en adelante hablaremos específicamente de los postulados de Nersessian. Morgan y Morrison no especifican un análisis de la calidad de los modelos, mientras que el proceso de Nersessian dedica una parte no menor a entender la calidad de su producción. El proceso de *evaluación* consiste en la prueba del modelo, donde se examina si el modelo comprende estructuralmente todos los elementos que se buscan describir y aclarar. En general, la prueba del modelo consiste en su aplicación con el fin de identificar si efectivamente sirve para explicar el fenómeno que busca perfilarse con él. De resultar satisfactorio, es decir, si el modelo describe la estructura representacional y el mecanismo de funcionamiento del fenómeno deseado, se puede determinar que el proceso de construcción y transferencia se satisfizo, se concretó la analogía correctamente y se puede terminar el proceso.

En caso que la evaluación del modelo resulte insatisfactoria, es decir, que bajo los criterios de comprobación se descubra que el modelo sea excesivamente generativo, o que los mapeos entregan información insuficiente, se debe iniciar la *adaptación*. Esta etapa implica el reiniciar el proceso de construcción de modelos, pero usando ahora los datos mejor perfilados de ambos dominios gracias el esfuerzo de construcción del modelo híbrido. Gracias a esta nueva información, se puede hacer este proceso con mayor claridad del problema a resolver y, de ese modo, se puede generar un modelo que represente de forma más fiel al fenómeno meta. Después de una cantidad indeterminada de iteraciones, el acercamiento persistente al dominio meta es suficiente como para generar un modelo que satisfaga la etapa de evaluación sin problemas y concluir el proceso de construcción analógica.

Llama poderosamente la atención la falta de tratamiento de estas etapas finales en el desarrollo del trabajo de Morgan y Morrison. Ellas abordan los atributos que componen la construcción de los modelos sin precisar en los mecanismos de perfeccionamiento de los modelos, presentando una idealización de formación de modelos que concluye satisfactoriamente al final. Al estudiar el propósito de los trabajos en *Models as Mediators* resulta claro que esto no es un asunto de importancia para las autoras porque ellas estructuran su texto con los objetivos de retratar la autonomía de los modelos, separarlos de la visión semántica tradicional e incorporarlos nuevamente en la tradición considerándolos ahora mediadores entre modelo y mundo. Desde ese prisma, es perfectamente prescindible la discusión acerca del perfeccionamiento de modelos realizados: lo vital para ellas es dar un giro en el concepto filosófico de los modelos como satisfactores semánticos.

Volviendo a Nersessian. Se mencionó que las etapas de evaluación y adaptación implican un proceso iterativo. Esta repetición persistente es una expresión del proceso de *bootstrapping* de Nersessian: es el desarrollo iteración con incrementos progresivos de precisión mediante corrección analógica ¹⁸. La reiteración cíclica de la creación de modelos es un proceso de perfeccionamiento que permite a largo plazo agotar las posibilidades del dominio fuente como ejemplar comparativo y permite de ese modo perfeccionar el conocimiento y despejar dudas respecto a lo posible de encontrar en el modelo final. Nersessian lo describe del siguiente modo:

El razonamiento sobre la base de modelos implica *bootstrapping*, lo cual consiste de ciclos de construcción, simulación, evaluación y adaptación de

¹⁸ Nersessian organiza el proceso de creación de modelos de manera tal que la instancia de evaluación y adaptación comprenden la simulación, lo cual puede no ser claro en la organización de esta tesina, donde se desplazó la explicación más detallada de la simulación para la última parte. Esto se debe solamente a que se estimó que las simulaciones ofrecen información más útil en el contexto de aprendizaje que de la instancia de comprobación de la utilidad de los modelos. Por esto se postergó el análisis de este punto a la sección dedicada a metodologías de aprendizaje mediante modelos.

modelos que actúan como interpretaciones temporales del problema objetivo. (Nersessian 2008, 184)

El perfeccionamiento mediante *bootstrapping* ocurre mediante un proceso tremendamente dilatado, en el que se generan modelos híbridos hipotéticos que se proyectan al fenómeno para observar si resuelven el problema, se establecen los resultados satisfactorios y se vuelve a intentar el proceso. El nuevo modelo que se crea ha adquirido las virtudes del anterior y se puede progresar de ese modo, poco a poco, a avanzar en modelos cada vez más certeros. Esta reiteración se hace cuantas veces sea necesario hasta obtener una versión satisfactoria y adecuada, un modelo que represente al fenómeno plena y satisfactoriamente¹⁹. Solo entonces se cierra el proceso, con un modelo híbrido que ya no es tal, sino un modelo del fenómeno meta totalmente satisfactorio.

Para hablar de perfeccionamiento de modelos, es necesario considerar su corrección. Recordemos que dada la relación de semejanza que existe en las representaciones icónicas (que son las que Nersessian identifica con los modelos necesarios para la creatividad científica) no responden a los métodos tradicionales

¹⁹ Un alcance: Mi coordinador de tesina y yo hemos conversado en más de una ocasión respecto al uso del término *bootstrapping* en el contexto del trabajo de Nersessian. Con interminable paciencia, el profesor Vallejos me ha conducido a ver que *bootstrapping* es en su forma más completa el concretar una operación aparentemente imposible: levantarse a uno mismo tirando de los cordones (*straps*) de las botas (*boots*) que se calzan. *Bootstrapping* sería, de ese modo, una metáfora de respaldarse en uno mismo, aunque no se tenga ningún apoyo, para solucionar un problema, como ocurre en la historia popular inglesa del Barón Munchhausen, quien se salva de morir en las arenas movedizas tirando de sí mismo desde su propio pelo. En mi lectura, sin embargo, me he empeñado a ir contra su consejo, insistiendo en que la extensión de *bootstrapping* en este contexto (y solo en este contexto) es distinta, su alcance es más limitado, y se remite específicamente a la persistente comparación entre dos estructuras analógicas que se sintetizan en una tercera y su posterior iteración, como una analogía del proceso de pasar los cordones de los zapatos de forma entrecruzada en la parte intermedia del zapato, sobre la lengüeta del mismo hasta lograr pasar todos los puntos del mapeo de forma satisfactoria. Mi punto, mi intento de zanjar esta discusión, es: Nersessian expresa a través de esta metáfora del entrecruzamiento conceptual el proceso de *bootstrapping* en términos más concretos. Todo el texto de Nersessian apunta a una forma de demostrar de forma concreta cómo es posible crear representaciones científicas parcial o totalmente nuevas a partir de modelos preexistentes (como ocurre con el caso más tratado por Nersessian: Maxwell y el descubrimiento del electromagnetismo). El libro *Creating Scientific Concepts* es, entonces, un ejercicio extenso de ilustración de como ocurre este *bootstrapping*. Espero en esta nota hacer justicia a este concepto para el lector y para el profesor.

de verificación, no cuentan con mecanismos de examen lógicos. Los mecanismos analógicos icónicos se orientan por la semejanza entre estructuras, las analogías representacionales no están sujetas a valores de verdad, de modo que queda la pregunta de cómo identificar las imprecisiones en esta clase de modelos. Para este fin, Nersessian recoge las observaciones de Gentner respecto a los requisitos para obtener una analogía productiva.

Gentner indica que en los modelos analógicos (i) las estructuras relacionales no se destruyen para acomodar la analogía entre conceptos, es decir, que se conserven las relaciones estructurales, dicho de otro modo, que hay un *énfasis estructural*, que (ii) ambas estructuras representacionales tienen los elementos análogos dentro los mismos niveles de relaciones estructurales, o que hay *consistencia estructural* y que (iii) las estructuras se constriñen por los mismos sistemas de orden superior, o que cuentan con *sistematicidad*. Con la conceptualización de Gentner queda un criterio firme de evaluación para calificar la conveniencia de los modelos y, a partir de ello, una escala graduable que permite observar de una forma más rigurosa la productividad de una analogía.

Una vez que se construye, mapea y transfiere el modelo, después de las evaluaciones que sean necesarias, si se perfecciona este modelo provisional hasta pulir todos los problemas, se obtiene como resultado un modelo nuevo. Si se desarrolló el modelo buscando realizar razonamiento sobre la base de modelos en un dominio meta desconocido, como se describió en esta sección, el modelo iluminará los fenómenos o teorías que explora su construcción con la analogía con un dominio fuente conocido. Aquí es donde se aprecia la potencia completa del razonamiento sobre la base de modelos, en el desvelar un fenómeno parcial o totalmente desconocido gracias a la analogía con un dominio conocido de antemano, lo que genera conocimiento nuevo a partir del conocimiento anterior existente. No obstante este importante valor de los modelos, existe una dimensión del uso de su uso que no está ligado al proceso de creación y que también es conducente a la generación de conocimiento nuevo. Los modelos actúan como ilustraciones e instrumentos, los cuales favorecen los procesos de aprendizaje,

facilitan la aplicación de las teorías en la práctica y operan como mecanismos que permiten analizar a fenómenos del mundo de acuerdo a los principios establecidos por teorías. Esta facultad de los modelos, la obtención de conocimiento de los modelos fuera del contexto de su formación, es el tema del resto del capítulo.

3.4. Aplicación y aprendizaje de los modelos mentales

La construcción de modelos mentales es solo una de las formas de derivar conocimiento de teorías o del mundo mediante modelos. El proceso de construcción de modelos no solo funciona mediante la entrega de una herramienta epistémica que permite interactuar con el mundo y con la teoría. A esto se agrega que el proceso de construcción entrega información sobre la naturaleza del mundo, la teoría y nuestro conocimiento de los modelos mismos. Así, los modelos sirven a un propósito doble. Por una parte, está la creación de mecanismos para manipular datos e intervenir en el mundo con ellos de modo informado gracias a una teoría o al funcionamiento del modelo mismo. Por la otra, está la confección de representaciones que nos permiten conceptualizar un fenómeno a partir de una comparación realizada mediante una estructura de conocimientos antes conocidos. Gran parte de la primera parte de este capítulo se dedicó a este último propósito: la creación de modelos nuevos a partir de conocimiento anterior. A continuación analizaremos el primer objetivo, que son las instancias de aprendizaje mediante modelos desde una perspectiva orientada hacia su aplicación.

Es oportuno iniciar esta sección distinguiendo los trabajos de Nersessian y Morgan y Morrison a alto nivel. La idea de que los modelos son versátiles es algo que permea el trabajo de ambos grupos de investigadoras. Los modelos pueden alimentarse con distintos tipos de datos (sensoriales, proposicionales, narrativos, conceptuales, la lista es larga), así como pueden generar como resultado distintas clases de información (cuantificaciones, respuestas binarias de tipo de sí/no, otros). En general las autoras prestan mucha atención a los tipos de datos con los cuales se forma y hace funcionar a los modelos, además de observar la procedencia de esa información, mas no practican una taxonomía tan exhaustiva sobre sus productos. De acuerdo a las perspectivas de las autoras, el ejercicio de desarrollo

de modelos tiene dos finalidades principales: la construcción de otros modelos y su aplicación como instrumento analítico sobre elementos teóricos o fenómenos. Morgan y Morrison indican que la finalidad de la creación de modelos y la parte más provechosa de este ejercicio es su función representativa. En este término se engloba a los modelos en su función de abstractores o traductores de la naturaleza real de un sistema o teoría o de un fragmento que se desea resaltar (Morgan y Morrison 1999a, 27). La conceptualización de modelo como instrumento lo expresan Morgan y Morrison con intención de demostrar que los modelos actúan de forma independiente, cual dispositivo epistémico, con autonomía parcial y un grado de libertad en su aplicación respecto a la teoría.

Por otra parte, esa noción de aplicación sobre instrumentos teóricos o sobre fenómenos no es desarrollado por Nersessian con el mismo énfasis, pero su posición es claramente más fuerte. De acuerdo a su punto de vista, el uso de los modelos no depende en lo más mínimo de la teoría. Los modelos, en ese caso, surgen de una fuente que les da un propósito más amplio. De acuerdo a la hipótesis del continuo, los modelos mentales en la ciencia son un punto en la continuidad entre la imaginación libre y el cálculo corporal-espacial por un lado y los cálculos racionales en extremo rigurosos que analizan situaciones imaginarias altamente específicas por el otro. De este modo, la actividad de creación de modelos mentales está fundada no en un rol científico, sino que en la imaginación. Dado esto, la teoría es accesoria para este atributo humano, pero significativa para el desarrollo de la ciencia. Aquellos modelos que se usan en torno a teorías, incluso si es para cotejarlas, no tienen la finalidad de ser articulaciones de ellas. Nersessian llanamente no ve una necesidad de conexión formal entre un modelo y una teoría, la coincidencia de contenido entre ambos es casual. Todo esto nos lleva a concluir que el valor de autonomía de los modelos en Nersessian es más pronunciada y, al mismo tiempo, menos relevante para su propósito, que es entender cómo estos son conducentes a la creación de conceptos nuevos.

En este mismo ámbito, de la aplicación sobre instrumentos teóricos o sobre fenómenos, hay otra distinción entre las autoras. Morgan y Morrison consideran que

la animación de los modelos, la visualización creativa del movimiento que se puede dar en ellos, es una característica secundaria en la actividad de su uso. Es algo que entrega luces sobre teoría y mundo, pero no es tan importante como lo es para Nersessian. Ella entiende como un valor indispensable en el proceso representacional la animación de los modelos. El concepto de animación se entiende aquí como el procesamiento y transformación de símbolos y conceptos mediante el uso del modelo, donde este procesamiento tiene como consecuencia la transformación de la representación. Dicha transformación se hace presente en los cambios de estado de la representación, que se desarrollarían de forma parecida a como lo haría el fenómeno representado. Una representación estática, sin movimiento, no es tan valiosa en el proceso de aprendizaje respecto al mundo como puede serlo una representación que considera transformaciones y que las refleja, lo que queda captado en la visión de que los modelos puestos en actividad no son sino simulaciones todas.

3.4.1. Dimensiones de aprendizaje y aplicación de modelos

Recordemos lo analizado hasta ahora. La construcción es uno de los métodos activos de aprendizaje de los modelos. La capacidad de representar una forma abreviada de un fenómeno o de reinterpretar un aspecto específico de un modelo puede traer grandes beneficios en la medida que estos contenidos evidencian imprecisiones y revelan aspectos escondidos de los datos conocidos.

El proceso de construcción siguiendo una metodología de razonamiento sobre la base de modelos refleja las semejanzas o diferencias entre un modelo o teoría que actúa como dominio fuente y un dominio meta desconocido. En la presencia de analogías positivas se encuentran estructuras que permiten reconocer elementos subyacentes en el dominio meta. En el caso de las negativas, podemos extrapolar que ciertos elementos del dominio fuente no se aplican al meta, lo cual sirve para focalizar la atención a comportamientos de conceptos relevantes. Las analogías neutras, por otro lado, son las más interesantes en términos potenciales: la incertidumbre de la presencia de un par en el otro dominio abre puertas

potenciales a conocimiento nuevo del fenómeno desconocido o incluso del dominio fuente. La dinámica de contraste, corrección y perfeccionamiento de las representaciones de los modelos es un vehículo de aprendizaje.

El valor de las representaciones de los modelos está en la codificación de los estreñimientos de un fenómeno de forma sintética, lo que permite interpretar racionalmente su contenido considerando los estreñimientos impuestos por los conceptos con el fin de facilitar la incorporación de esa información. Esto ocurre mediante la transformación de información a otros formatos distintos, sean lingüísticos, formularios o de imágenes, desde los cuales se pueden derivar ecuaciones, textos, diagramas, modelos físicos e incluso experiencias cinestésicas y auditivas. Estos distintos tipos de representación perfilan el tipo de manipulación que permite hacer el modelo y son la fuerza del aprendizaje desde los modelos considerado desde el punto de vista de la construcción.

Fuera del valor de los modelos en la construcción, estos pueden operar como otras clases de fuentes de conocimiento. Morgan y Morrison especifican tres dimensiones de aprendizaje: las dimensiones de construcción de teoría y exploración, métrica y diseño e intervención.

El uso de modelos en su función de *construcción de teoría* es lo que exploramos exhaustivamente en la sección anterior y que refrescamos en el principio de esta sección. Los modelos por sí solos, una vez terminados, sirven como ayuda en la construcción y la exploración de otros modelos. Así, un modelo funciona como un nuevo dominio fuente, una plataforma adicional de *exploración* desde la cual volver a iniciar razonamiento analógico mediante modelos, usando estos como punto de partida comparativa, como corrector de otras teorías o en sus formas de interacción con el mundo.

En esta dimensión, resulta interesante hacer una comparación en cuanto a las diferencias de la interpretación de Morgan y Morrison con Nersessian en cuanto a la funcionalidad de los modelos. Para las primeras, es muy importante enunciar los modos en los que los modelos actúan como correctores de modelos y, con especial énfasis, como correctores de teorías. Independientemente de si hablamos

de exploración de teorías ya existentes (como la construcción del modelo de FitzGerald para poner a prueba la mecánica del éter para corregir la teoría electromagnética de Maxwell), la exploración en cuanto a las posibilidades nuevas de las teorías (el modelamiento de Marx respecto al crecimiento balanceado de la economía que conduce a la demostración del estrecho camino del crecimiento en los modelos capitalistas) o para poder revelar procesos que no están bien estudiados en la ciencia (como la investigación del modelo de la bolsa MIT, que grafica de forma visual el confinamiento de los quarks en los hadrones), se demuestra una especial preocupación en la interacción activa de modelos sobre las teorías.

La noción de interacción de los modelos sobre las teorías es importante en la argumentación respecto a la autonomía funcional de las teorías. Considerando que los modelos tienen la facultad de corregir teorías, y dado que la visión semántica específica que los primero están subordinados a las últimas como sus articuladores, una corrección de una teoría obtenida mediante la manipulación del modelo implica una interacción de consecuencias modificando a sus causas. Esta argumentación es una de las formas invalidar la dependencia de los modelos de las teorías.

Nersessian, en oposición a las otras investigadoras lo da por sentado, pero no es una omisión. El entender la actividad de producción de modelos como parte del continuo de resolución de problemas humano, la hipótesis del continuo de Nersessian, supone desde un principio que la construcción de modelos funciona con una autonomía mucho más poderosa que la supuesta por Morgan y Morrison. No es tan importante la autonomía de los modelos en relación a las teorías, sino que es crucial la autonomía de los modelos en relación a toda clase de estructuras teóricas. Dado que, para Nersessian, la creación de modelos es parte de la manera en la que la cognición se originó en el hombre incluso antes de tener un concepto claro de teoría, la discusión de Morgan y Morrison resulta irrelevante.

Los modelos, fuera de su papel exploratorio de las teorías en su proceso de construcción, se desempeñan principalmente dentro del contexto del rol *educativo*, inserto en el contexto exploratorio de los modelos. Este es el uso que puede

apreciarse más frecuentemente en el caso de los diagramas en los libros de texto, las representaciones físicas en museos y, fuera del ambiente ligado a la educación formal, cualquier clase de representación altamente abstracta orientada a expresar de forma sintética relaciones entre distintos objetos del mundo, como es el caso de los mapas de Metro de Santiago. Este tipo de uso de los modelos es de ayuda gracias a su poder constrictor y generador de oportunidades, donde se elimina todo dato que pudiese considerarse irrelevante para la transmisión de contenidos específicos. La reducción de los factores del fenómeno a representar a una cantidad fácilmente manejable y manipulable facilita su entendimiento.

Los modelos, en específico aquellos que funcionan como dispositivos de articulación de teorías, pueden tener funciones asociadas a la *medición*. La incorporación de una cantidad suficiente de constrictores es conducente a la construcción de modelos que cuantifican con niveles de precisión elevados los fenómenos representados por el modelo, donde el modelo actúa como una herramienta que, una vez que se le incorpora los datos extraídos del fenómeno en un lenguaje compatible con el modelo, facilitan el cálculo de estos datos. Este es el caso de los teoremas matemáticos, los cuales son instrumentos que al alimentarse de una serie de datos numéricos, transforman esos datos a otros que permiten su representación de acuerdo a la teoría. De este modo, funcionan como transformación de formato informativo. Paralelamente a esto, un segundo modo en el que la medición tiene un papel sustancial es el uso de los modelos que actúan como procesadores de datos empíricos y producen como resultado una proyección de transformaciones futuras. Un ejemplo claro del procesamiento empírico para transformación de formato es el ejemplo de Hughes (1999) de la balanza de Ising un modo en el que la metáfora de la balanza sirve para facilitar al lector la interpretación de los factores económicos que intenta representar en ecuaciones más abstractas y difíciles de comprender a primera vista: Ising usó, en este contexto, una representación modificable mentalmente para ayudar al lector a interiorizar sus postulados y a ver como estos trabajan en un nivel abstracto sin necesidad de entender a cabalidad el alcance de su teoría. De ese modo, los modelos como sistemas de medidas tienen dos dimensiones: una de ellas es el

cómputo de datos del mundo y su métrica en función de un sistema representado por el modelo, la segunda es su rol como vehículo epistémico para entender las consecuencias de tales transformaciones.

Finalmente, el último aspecto descrito por Morgan y Morrison como las funciones que tienen los modelos puestos en acción es su uso como *herramientas de diseño e intervención*. Esto refiere específicamente a la capacidad que los modelos tienen como instrumentos que facilitan la resolución de problemas al proporcionar información que entrega oportunidades para intervenir y tomar decisiones informadas respecto al futuro desarrollo de fenómenos de interés, como los modelos que permiten estudiar los efectos de la inflación. Otra clase de modelos que figuran en el mismo tipo de uso son aquellos que permiten aplicar teorías en la confección y diseño de instrumentos de una naturaleza más tangible, como la aplicación de modelos de óptica para la creación de lentes. Estos son modelos que están formados con la intención de revelar luces respecto a comportamientos de fenómenos del mundo a partir de una serie de datos.

Es en este tipo de modelos, los orientados a diseño e intervención, donde se puede apreciar de forma más clara los efectos de la abstracción. Estos modelos revelan comportamientos de aspectos sumamente acotados de los fenómenos e incluso pueden llegar a ser contradictorios con modelos que describen otras propiedades del mismo fenómeno. Un ejemplo de esto son los modelos de la física mecánica, los cuales funcionan claramente dentro del mundo a varias escalas, pero dejan de funcionar una vez que abordamos partículas subatómicas, lo cual requiere abordar una serie de modelos ligados a la física cuántica, pese a que estos no son consistentes con las teorías del modelo anterior. Del mismo modo que los modelos sirven como herramienta de diseño de tecnologías, también tienen utilidad como diseño para modificar estructuras ya presentes, esta es su conceptualización como herramienta de intervención. Morgan y Morrison observan que en ciertas circunstancias los modelos se han usado para analizar elementos de una situación dada y se toman los resultados del uso de estos modelos como material accionable para alterar las circunstancias del mismo modo que se explicó que los modelos

sirven para generar decisiones informadas de diseño técnico. Los mecanismos de análisis económico que permiten modelar políticas económicas son un ejemplo de esta instancia. Morgan y Morrison sugieren que estos modelos funcionan como herramientas con las cuales las teorías pueden proyectarse a los fenómenos de modo de poder obrar con información anticipada acerca del comportamiento de esos fenómenos en un futuro. Podemos observar aquí los indicios de la simulación y como esta tiene un rol relevante en la aplicación de los modelos, pero este tema es extenso y requiere un tratamiento detallado.

3.4.2. Aprendizaje mediante modelos dinámicos

Si bien Morgan y Morrison delimitan las simulaciones como solo una aplicación particular de la representación, Nersessian profundiza sobre ellas y las considera vitales: solo en la simulación es posible constatar la creación de modelos mentales efectivos. Una simulación o animación de modelo, a grandes rasgos y englobando las posiciones de ambas autoras, consiste en el uso de modelos representacionales con características de proyección de transformaciones en estados futuros.

Consideremos las definiciones de las distintas partes sobre simulación. Morgan y Morrison distinguen entre las simulaciones y los modelos. Mientras los modelos habitualmente generan representaciones estáticas e idealizadas de una dimensión concreta del mundo desde el prisma de una teoría específica, las simulaciones son representaciones que se establecen sobre la base de semejanza con el fin de reproducir el comportamiento de un fenómeno generalmente con la finalidad de representar eventos improbables de presenciar de forma significativa, como los eventos astronómicos (Morgan y Morrison 1999a, 29). En esta visión se desprende que el producto de los modelos puede ser estático y de alto nivel, una representación corriente, o más cercanos al mundo mediante las simulaciones. Esto no quiere decir que Morgan y Morrison consideren que las simulaciones son de suyo representaciones mediante imágenes: si bien esto es una posibilidad, como el caso de la balanza de Ising, también forma parte de esta clase de representaciones las

simulaciones hechas por modelos que se resuelven entregando secuencias de estados en un formato que desde el punto de vista de Nersessian se clasificarían como proposicionales amodales, como resultados de pronósticos en secuencia mediante cifras. "Las representaciones pictóricas no son un prerrequisito para las simulaciones, pero son de ayuda", comentan, parafraseando a Hughes (*ibid.*).

Por otra parte, Nersessian expone desde su punto de vista de razonamiento mediante modelos que la simulación es la animación de un modelo mental perceptual, específicamente icónico, y de una enorme importancia como herramienta epistémica. Las simulaciones operan como dispositivos que exigen el ingreso de ciertas variables para funcionar y reproducir su contenido, sea esto un movimiento genérico, como la simple hipótesis de "cuál sería el efecto que tendría en esta estructura de engranajes, las pseudoesferas, si en lugar de imaginarlos rígidos los pusiere en movimiento" puesto en la mente de Maxwell, o un movimiento específico, como el cálculo del movimiento de un péndulo sometido a valores específicos de velocidad y resistencia dados. La simulación perceptual involucra el funcionamiento conjunto de relaciones estructurales junto a la capacidad de estimación de estados futuros para proyectar el funcionamiento de un mecanismo conceptual, lo cual puede derivar en más generadores de oportunidades y constrictores para entender una situación dada.

Probablemente la instancia más importante de modelamiento mental para Nersessian son los experimentos mentales. Estos son sistemas conceptuales que representan sistemas físicos y cuya simulación se desarrolla mentalmente (Nersessian 2008, 137). Lo que distingue a un modelo mental de un experimento mental es que los modelos son sistemas integrados que describen un fenómeno, mientras que los experimentos mentales son una clase de modelos mentales, representaciones animadas con un alto grado de preparación para poder predefinir los recursos epistémicos (las oportunidades y constreñimientos) derivados de esta representación, con el fin de facilitar la comprensión de un modelo por parte de terceros que no conocen el modelo. Mientras un modelo representa un aspecto de un fenómeno específico, un experimento mental es una recreación mental de una

situación compleja, que se expresa de forma muy regulada para controlar todas las oportunidades y constreñimientos que ofrece. Esta clase de modelos tiene generalmente el propósito de ilustrar el comportamiento de una teoría en un caso específico, muchas veces para revelar problemas de dicha teoría o de los modelos que se usan para interpretarla. Los experimentos mentales son ampliamente usados en la ciencia y son dispositivos cognitivos conducentes a la creatividad científica al disponer al receptor a ver la ejecución de un modelo y los problemas que este puede tener, de modo de dar oportunidades de resolverlos.

De acuerdo a la hipótesis del continuo, la formulación de toda clase de simulaciones está cimentada en el sistema sensoriomotor y es el fundamento de los experimentos mentales, que son una herramienta invaluable en la producción de conocimiento científico. Además, es un requisito estricto para el *bootstrapping* analógico, ya que si no se puede simular la puesta en práctica de un modelo, no se pueden descubrir los errores y el funcionamiento ordenado del *bootstrapping* se interrumpe en la fase de evaluación. Esto conduce a Nersessian a tomar una posición marcadamente opuesta a Morgan y Morrison, indicando que en el rol del razonamiento creativo sobre la base de modelos "la distinción entre analogía, imágenes y simulación como procesos separados es artificial, dado que cada uno está implicado en el otro" (Nersessian 2008, 187).

Nersessian objeta, además, la idea de que se usan simulaciones con modelos construidos a partir de representaciones proposicionales en contextos de descubrimiento. Si bien es codificable una simulación con estructuras de este tipo, estas son solo codificaciones de razonamientos que se llevaron a cabo en otro formato con anterioridad, que tienen que haber sido ya formados y simulados para identificar los elementos que componen esas proposiciones. Toda forma de experimento mental, de acuerdo a Nersessian, es una forma de razonamiento simulativo sobre la base de modelos, y dada la afinidad de la mente con las representaciones visuales, la compleja operación de animación exige de primera mano el uso de estructuras icónicas. De este modo, los experimentos mentales instituidos dentro de las culturas académicas en sus respectivas áreas (física,

sociología, filosofía) son dispositivos orientados a facilitar los componentes del simulador que constituye al modelo mental. Morgan y Morrison discreparían: la proposicionalidad de los modelos permiten que estos sean eventualmente procesables por sistemas informáticos para ser interpretados posteriormente por una persona. Si bien resulta difícil concebir un sistema informático que procese e interprete símbolos modales como lo haría una persona, independientemente de esto es una realidad técnica la capacidad de simular modelos a través de sistemas electrónicos.

Nersessian argumenta dentro de esta discusión que la hipótesis del continuo hace poco factible la construcción proposicional de conceptos nuevos en la ciencia mediante modelos. Los experimentos mentales funcionan estrechamente ligados con la representación icónica. De este modo, Nersessian indica que los modelos proposicionales tienen un lugar en la ciencia, pero no en el proceso creativo. La creación de modelos proposicionales a partir de modelos o representaciones icónicas son un proceso depurativo y especificador que ocurre después de la etapa creativa, es una suerte de consolidación del conocimiento. Una segunda consecuencia de esta postura es que todo proceso de creación de modelos mentales en contexto científico con miras creativas va a ser con toda seguridad uno analógico.

Los productos de la simulación son reconocidos por todas las autoras como valiosos. Puede que Morgan y Morrison descarten la utilidad de las representaciones de imágenes, si bien reconocen que actúan como otro asidero para que la mente interprete los datos proposicionales y como un dispositivo epistémico que entrega facilidad para poder entender estos datos, incluso si no es estrictamente necesario (Hughes 1999), pero la conceptualización de simulación proposicional sigue siendo una herramienta importante de aprendizaje, un vehículo de observación de fenómenos a los cuales no se puede presenciar o que se está buscando anticipar. Nersessian va más allá y reconoce la simulación como indispensable para la realización correcta de modelos mentales, más aún en el caso

en el que se pretenda construir conceptos nuevos en la ciencia, donde los experimentos mentales juegan un rol protagónico.

3.5. Síntesis

Los modelos, mentales o no, solo pueden entenderse analizándolos en un formato dual: en su construcción, de modo de vislumbrar con claridad las relaciones psicológicas en la que se dan, y en uso, lo que ilustra el rol representacional e instrumental que demuestran en la práctica. En la construcción de modelos se puede evaluar desde una mirada analógica, como lo hace Nersessian, o una mixta entre puramente analógica y de construcción mediante conceptos heterogéneos, como indica Morgan y Morrison, pero finalmente estas dos nociones pueden reducirse a una visión que sigue los parámetros de analogía establecidos por Nersessian. El proceso analógico consta de varios pasos: selección de dominios, selección de conceptos relevantes, construcción de un boceto, transferencia de conceptos y examen del funcionamiento de los modelos. Esto requiere constante iteración, dado que el estado final del modelo nuevo es desconocido, lo que obliga a resolver el problema con las herramientas a mano y sacando el mayor partido posible de la analogía, como refleja el ejercicio del *bootstrapping*. El trabajo de Nersessian refleja cómo los límites de la cognición y los aspectos donde la mente se mueve con más agilidad definen el mecanismo en el cual los modelos se construyen, todo esto ligado al proceso de evolución del hombre.

Paralelamente, es posible aprender de los modelos contemplando su uso. Morgan y Morrison dedican esfuerzos para demostrar que los modelos tienen independencia parcial y pueden actuar correctivamente sobre los principios que los estructuran, los datos empíricos y la teoría. No solo eso, también actúan como dispositivos tecnológicos que revelan contenidos del mundo y de la teoría que desconocemos, incluso de otros modelos, en sus funciones de simuladores, medidores, representantes y examinadores. Nersessian expande en este punto y comenta cómo es altamente probable que este método, el aprendizaje analógico mediante *bootstrapping*, no solo hace lo anteriormente descrito sino que también tiene un rol privilegiado dentro de nuestra arquitectura neurológica y de

conocimiento para facilitar la exploración de nuevos conceptos, trayendo consigo innovación.

4. Conclusiones

Los trabajos examinados de Nancy Nersessian, Mary Morgan y Margaret Morrison no sustentan una suplementación integral y coherente. Las diferencias de las autoras se expresan en varios niveles, por lo que no es posible pensar que las nociones completas, sin descomponer, de las teorías de las autoras puedan funcionar en conjunto.

Una razón para la incompatibilidad de las visiones de las autoras es la diferencia de las hipótesis básicas sobre la noción de modelo. Morgan y Morrison no consideran dentro del marco general de los modelos el rol de los modelos mentales, mientras que éste es el dominio de investigación escogido por Nersessian. Esta discrepancia se origina en la divergencia en los propósitos de investigación. Morgan y Morrison se instalan en un contexto filosófico de las ciencias que busca reformular conceptos de la visión semántica de las teorías, pero el resultado no rompe con todos los vínculos con esa visión. La intención última de *Models as Mediators* es relativizar la relación rígida de subordinación de los modelos hacia las teorías para reflejar la autonomía observada extensamente en sus escritos, pero sin abandonar o revolucionar el proyecto. Los modelos mediadores son autónomos en cuanto a que no están en una relación de directa determinación de las teorías, pero siguen siendo dependientes de ellas, aunque parcialmente. Morgan y Morrison, de este modo, heredan los valores de la visión semántica.

En contraparte, el objetivo de Nersessian no es ni el mismo ni es opuesto, es distinto. Su intención es defender la hipótesis de que los modelos mentales analógicos perceptuales son fundamentales para el descubrimiento científico, algo que no se ha estudiado en la disciplina con suficiente ahínco. Nersessian no tiene conexión con la misma escuela de pensamiento de Morgan y Morrison, su objetivo se conecta con avanzar la comprensión de la creatividad científica al mismo tiempo que se resuelven problemas planteados por el historicismo dentro de un marco asociado a las ciencias cognitivas. En vista y considerando que los argumentos de Nersessian y Morgan y Morrison no son ni opuestos, ni contradictorios, ni

suplementarios, puede decirse que no coinciden de modo de poder conectar sus ideas desarrolladas de forma constructiva.

La forma más obvia de la distancia de la argumentación entre las autoras pasa por los ámbitos de interés dentro del mismo campo de investigación en donde se desarrollan las ideas de las autoras. Morgan y Morrison hacen una descripción general de los modelos en su relación con las teorías y cómo estos son instrumentales para conectar las teorías, abstractas y elevadas, con el mundo de los fenómenos, empírico y concreto. Su intención última es indicar que esta relación es horizontal: teoría, modelo y mundo en el contexto del conocimiento científico no deben entenderse en una relación de subordinación, sino que en una de transferencia bidireccional. Por otra parte, Nersessian hace una revisión exhaustiva de los procesos de conexión que establecen el proceso metódico en el que la mente capta de forma clara y precisa un fenómeno desconocido. Los elementos de análisis de Nersessian son las propiedades del razonamiento humano y los modelos como plataforma mental para nuevos descubrimientos, con la teoría relegada a un papel de trasfondo. Los elementos en común entre todas las autoras no son los objetivos, sino que el lenguaje con el cual se articulan las estructuras que permiten estas dinámicas.

Sin embargo, decir que no haya puntos de contacto en cuanto a sus objetivos no significa que no pueda encontrarse aristas desde los cuales sea posible ver no suplementariedad, pero al menos alguna clase de suma de los valores separados en su conjunto. La visión de Nersessian sobre las restricciones de la memoria y el soporte del sistema sensoriomotor permiten perfeccionar la visión de Morgan y Morrison sobre la construcción de los modelos mentales. La síntesis de los distintos tipos de construcción de modelos en una sola forma de entender analogía que se explicó en la sección dedicada a introducir la estructura conceptual Morgan y Morrison solo puede ocurrir gracias a la visión de Nersessian y su base de conocimiento de neurociencia. Del mismo modo, la descripción del aprendizaje de Nersessian no especifica la diversidad de aplicaciones de los modelos que enfatizan Morgan y Morrison.

El problema de la complementariedad no se deriva, por lo tanto, de inconsistencias entre teorías, sino que de falta de contenidos que actúen como puentes conectores entre ellas. Pese a que las autoras no se encuentran por una visión de base, cuentan con un fundamento común en los modelos como objeto de estudio. Desgraciadamente, el trabajo de las autoras en esta dimensión también cae en un problema descrito por ellas, que es la divergencia de los conceptos que estructuran el marco de trabajo y estudio de los modelos mentales fundado en la inexistencia de una teoría común. Las autoras tampoco se encuentran en términos fundamentales como "concepto" y "modelo". El encuentro entre las posiciones tampoco está en esos términos fundamentales, que son los objetos conceptuales que componen el foco del estudio, sino que en la visión acerca de los procesos que componen, ensamblan, seleccionan y organizan estos términos. Las conceptualizaciones de los procesos de creación de modelos son distintos en conclusiones, pero estructuralmente muestran algunas equivalencias. Todas las autoras consideran procesos analógicos que exigen recuperación, creación, mapeo y transferencia, que son los aspectos más básicos detrás de la noción analógica de transferencia de dominios.

El fundamento de las diferencias conceptuales y la razón detrás de la incompatibilidad se encuentra en diferencias respecto al rol de los distintos tipos de codificación representacional dentro de los modelos. Morgan y Morrison no lo indican de forma expresa, pero a través de las características de los procesos de construcción e implementación de los modelos se trasluce que el rol de los modelos es, desde su punto de vista, un proceso que se desarrolla principalmente en una dimensión proposicional. La organización conceptual de Morgan y Morrison si bien tiene las condiciones para desarrollar a los modelos icónicos, este análisis es pobre en comparación con el desarrollo de los modelos proposicionales. Incluso se llega a descartar la importancia de la iconicidad en aspectos donde esta tiene una enorme relevancia, como es el caso de las simulaciones. A su vez, la visión de Nersessian describe una posición clara y expresamente icónica, exclusiva de cualquier forma de modelo proposicional para los fines de su investigación. La diferencia fundamental aquí es que Nersessian explicita esto, de modo que se hace cargo en

la descripción de los procesos de formación cognitiva de las características de los modelos proposicionales, incluso si es solo para indicar que son inadecuados para sus fines. Dada estas diferencias, es natural que las autoras discrepen sobre dónde se encuentra el aspecto más productivo de los modelos, esa visión está profundamente perfilada por la naturaleza de los formatos.

Dicho esto, y considerando lo anterior, lo que puede apreciarse son esencialmente divergencias. Las instancias de divergencia no son insalvables, dado que surgen no de una oposición destructiva de la visión contraria. Es posible concebir que estas conceptualizaciones puedan integrarse de forma complementaria, de modo que aborden dimensiones distintas de la actividad de creación de modelos. Morgan y Morrison trabajando sobre la proposicionalidad y los modelos desde una visión donde se desarrolla una conexión entre modelos con teorías y Nersessian trabajando sobre la iconicidad desde el enlace entre las dimensiones psicológica del observador y del fenómeno del mundo. Para este fin es necesario contar con una estructura teórica que pueda incorporar ambas visiones. Esta estructura debe corregir las estrecheces de la visión de Morgan y Morrison para incorporarlas dentro de una visión epistemológica naturalizada e integrar elementos que resalten la importancia tanto de la cultura como del entorno neurológico interno que son la base para la selección de los aspectos proposicionales, tal como Nersessian explica el fundamento neurológico de la iconicidad de los modelos. Para que una estructura de esta naturaleza reorganice a las visiones de las autoras integrándolas a un todo mayor, sería necesario un núcleo que actúe como orientador de la reconfiguración. Probablemente esto se corresponde con una propuesta de teoría de teorías que permitan reorganizar las estructuras integrando los roles de proposicionalidad e iconicidad de modo coherente y que entregue nociones acabadas e integrales de todos los conceptos cruciales para referirse a la construcción, uso y aprendizaje desde modelos, como "modelo", "concepto", "teoría", entre otros. Este trabajo es extenso y claramente se escapa del alcance de esta tesis.

No se satisface la apuesta de una complementariedad entre las visiones de Morgan y Morrison y Nersessian para gestar una conceptualización integral de los modelos mentales. Solo cabe seguir trabajando con miras a trabajar en pos de un sistema que comprenda la diversidad de los mecanismos de representación estructural en su dinámica con los principios abstractos de conocimiento científico capturado en las teorías. Todo esto con el fin de unificar lo sensorial y perceptual con lo abstracto y lógico en una dinámica constructiva que abra las puertas a una comprensión más profunda de las condiciones epistémicas humanas que facilite el descubrimiento de lo desconocido.

Bibliografía

BARSALOU, L. 1999. Perceptual symbol systems. En: Behavioral and Brain Sciences 22:577–660.

BOUMANS, M. 1999. Built-in justification. En: MORGAN, M y MORRISON, M. (Eds.). Models as Mediators. Cambridge University Press, Nueva York. p. 66-96. (Ideas in Context)

CARTWRIGHT, N. 1999. Models and the limits of theory: quantum Hamiltonians and the BCS models of superconductivity. En: MORGAN, M y MORRISON, M. (Eds.). Models as Mediators. Nueva York, Cambridge University Press. p. 241-281. (Ideas in Context)

GENTNER, D. y GENTNER, D. R. 1983. Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. En: D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.). Mental models. Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates. p. 99-129.

GENTNER, D., RATTERMAN, M. J. y K. D FORBUS. 1993. The roles of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. Cognitive psychology 25(4):524-575

GIERE, R. 2008. Models, Metaphysics, and Methodology. En: S. HARTMANN, C. HOEFER y L. BOVENS (Eds.), Nancy Cartwright's Philosophy of Science. Nueva York, Routledge. p. 123-133.

HESSE, M. 1966. Models and Analogies in Science. Notre Dame, University of Notre Dame Press. p. 184.

HUGHES, R.I.G. 1999. The Ising model, computer simulation, and universal physics. En: MORGAN, M y MORRISON, M. (Eds.). Models as Mediators. Nueva York, Cambridge University Press. p. 97-145. (Ideas in Context)

JOHNSON-LAIRD, P. N. 2004. The History of Mental Models. En: Manktelow, K. y Chung, M. C. (Eds.). Psychology of Reasoning: Theoretical and Historical Perspectives. Nueva York, Psychology Press. p. 179-212.

LUTZ, S. 2009. What's Right with a Syntactic Approach to Theories and Models? - Summary -. Manuscrito en preparación.
URL=<<http://www.phil.uu.nl/~slutz/publicaties.shtml>>

MORGAN, M. y MORRISON, M. 1999a. Models as Mediating Instruments. En: Models as Mediators. Nueva York, Cambridge University Press. p. 10-38. (Ideas in Context)

--- 1999b. Introduction. En: Models as Mediators. Nueva York, Cambridge University Press. p. 1-10. (Ideas in Context)

MORGAN, M. 1999. Learning from models. En: MORGAN, M y MORRISON, M. (Eds.). Models as Mediators. Nueva York, Cambridge University Press. P. 347-389. (Ideas in Context)

NERSESSIAN, N. 2008. Creating Scientific Concepts. Cambridge, The MIT Press. p. 251.

PAIVIO, A. 1990. Mental Representations: A Dual Coding Approach. Nueva York, Oxford University Press. (Oxford Psychology Series No. 9)

ROSENBERG, A. 2011. Theory construction vs model building. En: Philosophy of Science, a Contemporary Introduction. 3a ed. p. 161-178. (Routledge Contemporary Introductions to Philosophy)

VAN FRAASSEN, B. 1980. The Scientific Image. Nueva York, Oxford University Press. (The Clarendon Library of Logic and Philosophy)

WILSON, R. y KEIL. F. 1999. The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences. Massachusetts, The MIT Press.

WINTHER, R. The Structure of Scientific Theories. En: The Stanford Encyclopedia of Philosophy (edición primer semestre de 2015), EDWARD N. ZALTA (ed.). URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/structure-scientific-theories/>>.