

UNIDAD DE NOCIÓN BAJO LOS USOS DEL TÉRMINO 'MODELO' EN LAS CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FACTUALES

JOSÉ LUIS FALGUERA¹

Departamento de Lógica y F^a de la Ciencia. Facultad de Filosofía y CC. de Educación.
Univ. de Santiago de Compostela. 15706 Santiago de Compostela.

En este artículo se examina la propuesta de que bajo los diferentes usos del término 'modelo' que conciernen a las ciencias factuales y matemáticas subyace una misma noción. Dicha propuesta ha sido planteada por P. Suppes hace tres décadas, sin que parezca que haya sido tomada seriamente en consideración salvo para rebatirla. La pretensión de este trabajo es mostrar que la mencionada propuesta es defendible, incluyendo que la noción común que subyace a los diferentes usos del término 'modelo' es la que corresponde al uso de la semántica formal -como Suppes planteó-. Sin embargo, esto exige concebir los modelos de la semántica formal bajo una perspectiva representacional y no bajo la perspectiva interpretacional que Suppes tenía presente.

Palabras clave: modelo a escala, modelo analógico, modelo teórico, modelo matemático, modelo de semántica formal, teoría factual, Suppes.

1. La propuesta de P. Suppes

Patrick Suppes, en su artículo "A Comparison of Meaning and Uses of Models in Mathematics and Empirical Sciences" (SUPPES [1960]), plan-

¹Algunas ideas recogidas en este trabajo se han ido gestando en diálogos con el Prof. L. Villegas (Univ. de Santiago de Compostela), por lo que tengo una cierta deuda intelectual para con él. Además, mis compañeros del Área de Lógica y Filosofía de la Ciencia han hecho sugerencias sobre algunos de los apartados que conforman este trabajo tras la lectura de una primera versión de los mismos, siendo especialmente útiles las de: el propio L. Villegas, J.M. Sagüillo y J. Vázquez. Otro tanto debo decir del Prof. C. U. Moulines (Universidad de Munich). A todos ellos mi agradecimiento. El presente artículo se realizó en parte durante una estancia en la Universidad de Oxford, estancia que fue posible gracias a una ayuda económica del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Santiago de Compostela. Debo agradecer al Prof. Rom Harré (Univ. de Oxford) las diferentes ocasiones en que me brindó su tiempo para discutir cuestiones relacionadas con el tema que es objeto de tratamiento en este trabajo, así como no pocas sugerencias que han enriquecido mis puntos de vista al respecto. En cualquier caso es de mi absoluta responsabilidad cualquier error o deficiencia que pueda encontrarse en este trabajo.

tea que bajo los diferentes usos del término 'modelo' tal cual es empleado en las ciencias matemáticas² y en las ciencias empíricas³ subyace una misma noción, un mismo concepto. Suppes no niega la diferencia de usos, pero a pesar de ello postula una constancia de significado a través de dichos usos propios de las ciencias matemáticas y empíricas. Esa constancia de significado, esa unicidad de concepto del término 'modelo' corresponde, según Suppes, a la acepción que el término tiene en semántica teórico-modelista. Suppes, al establecer esto, afirma además que el concepto de modelo de la semántica teórico-modelista hay que entenderlo a la manera propuesta por Tarski -como por otra parte ha venido resultando usual-. Así, establece:

Pretendo que el concepto de modelo en el sentido de Tarski puede usarse sin distorsión y como un concepto fundamental... En este sentido, aseveraré que el significado del concepto de modelo es el mismo en matemáticas y en las ciencias empíricas. La diferencia que se encuentra en esas disciplinas se encuentra en sus usos del concepto. Al delinear esta comparación entre constancia de significado y diferencia de uso, no surgen las cuestiones semánticas, algunas veces difíciles, de cómo uno explica el significado de un concepto sin referencia a su uso. Cuando hablo del significado del concepto de modelo siempre hablaré en contextos técnicos bien definidos, y lo que aserto es que, dado este significado técnico del concepto de modelo, los matemáticos preguntan cierto tipo de cuestiones y los científicos tienden a preguntar otro tipo de cuestiones. (SUPPES [1960], p. 112)

2. Los usos del término 'modelo' en ciencias factuales y semántica formal

Suppes comienza el mencionado artículo con una serie de citas, propias de diferentes contextos de la ciencia, en las que se emplea el término 'modelo' conforme a diferentes tipos de uso. La primera de las citas in-

² Debe quedar claro que los 'modelos de las matemáticas' y los 'modelos matemáticos' son usos diferentes. El primero corresponde a lo que también denominaremos uso de la semántica formal y el último a uno de los usos propios de las ciencias factuales. La caracterización de ambos usos se hace explícita más adelante.

³ Mi preferencia personal es denominarlas ciencias *factuales*, pero ya que esto no resulta fundamental para este trabajo emplearé como equivalentes las expresiones de 'empírico' y de 'factual'.

cluye el término modelo bajo el uso propio de la semántica formal. Los otros usos contemplados en esas citas puede decirse que corresponden a los distinguidos por M. Black en su artículo "Models and Archetypes" (BLACK [1962]) como propios de las ciencias factuales. Adoptando una distinción similar a la de Black podemos considerar los siguientes diferentes usos de 'modelo': modelo como '*reproducción a escala de algo*'; modelo como '*formulación matemática de un campo de investigación*'; modelo como '*analogía con respecto a un sistema específico*'; modelo como '*(re)conceptualización de un sistema específico, previamente no bien conocido o comprendido*'. Podemos denominar estos usos de manera más breve, conforme al orden previo de mención, como: a) modelo a escala; b) modelo matemático; c) modelo analógico; d) modelo teórico. Permítaseme una breve caracterización de estos cuatro usos, que será útil a los efectos de una posterior argumentación:

a) *Modelo a escala*. Estas reproducciones a escala pueden hacerse, en algunos casos, con los mismos materiales -al menos respecto a los aspectos fundamentales a reproducir- o, en la mayor parte de los casos, con materiales diferentes que los que conforman lo modelado. Por otro lado, la reproducción puede realizarse a escala mayor o menor que lo modelado (y excepcionalmente es de la misma escala). Además, puede ser tridimensional -usualmente denominadas maquetas- o bidimensional -como planos, mapas, dibujos geométricos,...-. Aunque las reproducciones a escala no son exclusivas del ámbito de las ciencias, también tienen su aplicación en este campo -especialmente en las ciencias factuales- como instrumento descriptivo de sistemas, ya sean sistemas concretos del mundo externo ya sistemas fruto de la imaginación. Lo único que hace una reproducción a escala es plasmar aquello que ya está dado previamente, bien porque refleja un sistema concreto tal cual se nos presenta, bien porque refleja un sistema (concreto o abstracto) conforme a una descripción formulada del mismo, bien porque plasma un sistema tal cual es concebido por la imaginación. En cualquier caso, las reproducciones no son más que el resultado de la información disponible sobre aquello que modelan, aunque pueden utilizarse para descubrir nueva información. Evidentemente, estas reproducciones no pretenden incorporar todos los componentes y

rasgos del asunto a reproducir; sólo aquellos que se estiman relevantes en base a la función prevista para la reproducción, en base a la finalidad para la que se hace -se construye- la reproducción.

b) *Modelo matemático*. Este uso corresponde a constructos matemáticos con los que se pretende dar cuenta y hacer posible una indagación precisa, aunque simplificada, de un determinado campo de investigación - formulaciones matemáticas de un campo de investigación-. Este uso se aplica bajo el supuesto de que cabe realizar una investigación sobre determinado ámbito que, aunque simplifique los datos mediante la selección de algunos parámetros (desconsiderando otros posibles parámetros propios del ámbito de investigación), proporcione, a través de la formulación matemática, consecuencias consideradas significativas y adecuadas para el conocimiento del campo de investigación en cuestión. En cierta medida, las simplificaciones que incorpora la formulación matemática quedan compensadas por el rigor que se introduce a través de la misma y la facilidad que supone en el manejo de los datos.

c) *Modelo analógico*. Con este uso no se busca la reproducción de un sistema, sino proporcionar un sistema que sea *similar* con el asunto del que es modelo en algún respecto. Debe resultar claro que la relación de *similaridad* o *analogía* de un sistema con respecto a otro es más débil que la reproducción -característica esta última de los modelos a escala, como ya se dijo arriba-. Además, esta similaridad entre el modelo analógico y lo que modela no requiere disponer, de hecho, del sistema que es similar al asunto que se modela; es decir, en el caso de los modelos analógicos - como bien señala P. Achinstein-, y a diferencia de los modelos a escala, no precisan ser construidos mediante algún material, ni siquiera ser dibujados, basta describirlos para dar cuenta de la similaridad (Cfr. ACHINSTEIN [1968], p. 211)⁴

d) *Modelo teórico*. Una de las características propias de un modelo teórico es que proporciona una manera de concebir un sistema concreto del

⁴ En esto discrepo de Black, que parece limitar al caso de los modelos teóricos la posibilidad de presentarlos mediante mera descripción y la no necesidad de que sean construidos de facto (Cfr. BLACK [1962], p. 226).

mundo externo, y esa es su función primordial. Además, un modelo teórico siempre está directamente vinculado con una determinada teoría científica, la cual pretende dar cuenta del -describir, explicar o predecir el- ámbito del mundo al que pertenece el asunto sobre el que trata el modelo teórico en cuestión⁵. El ámbito del mundo sobre el que trata un modelo teórico es parcialmente describible mediante el aparato conceptual disponible con anterioridad a la teoría con la que el modelo teórico está directamente vinculado; es decir, la conceptualización que proporciona el modelo teórico sobre su asunto consiste en complementar información sobre dicho asunto, disponible con anterioridad a la existencia y empleo de la teoría científica directamente vinculada al modelo teórico en cuestión, mediante información que proporciona el nuevo aparato conceptual específico de aquella teoría. Con este nuevo aparato conceptual *se postula un diseño* más completo del sistema concreto, del mundo externo que constituye el asunto del modelo teórico, de manera que sea posible una mejor comprensión suya. Al decir que "...se postula un diseño más completo..." no estamos asumiendo que el modelo teórico proporciona *el diseño completo* del asunto sobre el que trata, ni tampoco que necesariamente proporcione algún diseño que *de hecho* sea más completo sobre su asunto. Es decir, el modelo teórico puede postular un diseño más completo de su asunto a modo de ficción heurística (Cfr. BLACK [1962], pp. 224-225); aunque también puede emplearse como pretendiendo dar cuenta de lo que hay, como presentando su asunto tal y como se supone que es⁶. En cualquier caso, aún cuando un modelo se presenta como dando cuenta de lo que hay, parece que se asume que sólo lo hace de manera aproximada.

⁵ Creo que en el análisis que Rehead hace de los modelos teóricos (Cfr. REHEAD [1980]) a éstos les corresponden las dos características anteriormente mencionadas, aunque él se preocupa por enfatizar que un modelo teórico posibilita una *aproximación* al sistema concreto sobre el que trata -que concibe-. Además, Rehead, en dicho artículo, analiza cómo se emplean los modelos teóricos en tareas como: a) probar teorías; b) descubrir nuevas teorías; y c) contrastar teorías.

⁶ Para mayor consideración sobre la cuestión de los compromisos existenciales asumidos mediante modelos teóricos cfr. HARRÉ [1970], Cap. 2.

Además de estos cuatro usos, bajo los que caen buena parte de los que aparecen en las citas recogidas por Suppes en el artículo mencionado, el otro considerado por este autor es el que es propio de la semántica formal, como ya dije anteriormente. Lo reconoceremos bajo la denominación de *modelo de semántica formal*. Conforme a este uso un modelo es una estructura conjuntista que se pone en relación con un lenguaje formal (o semiformal).

3. Sobre modelos en el empirismo lógico

Dada esta diversidad de usos del término 'modelo', la propuesta de Suppes de que se da una constancia y unidad de significado para el mismo parece en principio poco plausible; y más problemático resulta el que pretenda identificar esa constancia de significado mediante el uso correspondiente a la semántica formal.

Es cierto que los trabajos de algunos filósofos de la ciencia asumen cierta identificación entre determinados usos del término 'modelo' propios de las ciencias factuales y el uso de la semántica formal. Así, pensadores como R.B. Braithwaite (*Cfr.* [1959]) y E. Nagel (*Cfr.* [1961]) parecen asumir que los modelos (analógicos y teóricos) se pueden tomar como modelos semánticos que proporcionan *alguna* interpretación para el cálculo formal de una teoría factual; aunque, ni dan mayores razones para proceder de esta manera ni la diferencia de usos aparece muy clara en sus trabajos (*Cfr.* ACHINSTEIN [1965] y [1968]), lo que a mi parecer genera confusión en los análisis de Filosofía de la Ciencia, especialmente cuando se trata de determinar la relevancia y esencialidad de los modelos en las teorías factuales, como he intentado mostrar en mi artículo "El Enredo de los Modelos en las Ciencias Factuales" (*Cfr.* FALGUERA [1993]).

La posición de Braithwaite y Nagel sobre este particular puede presentarse en los siguientes términos: Las interpretaciones del cálculo que ex-

⁷ Aunque ambos tratan sobre modelos en general, parece que los casos de modelos de las ciencias factuales que consideran corresponden a lo que denominamos modelos analógicos y modelos teóricos.

presa una teoría factual proporcionadas mediante modelos no serían las adecuadas, sino que tendrían un mero papel didáctico, posibilitando una comprensión intuitiva de la teoría, y como mucho heurístico; siendo la auténtica interpretación la alcanzada por las reglas de correspondencia entre los términos descriptivos del lenguaje teórico y términos descriptivos de un supuesto no-problemático lenguaje observacional completamente interpretado, propios -ambos lenguajes- de la teoría factual a la que corresponde el cálculo formal en cuestión.

Como bien es sabido, el anterior punto de vista corresponde a la propuesta de estructura de una teoría factual que se denomina como *Concepción Heredada*. Dicha propuesta tuvo como uno de sus precursores y máximos exponentes a R. Carnap, quien hizo una valoración similar a la de Braithwaite y Nagel respecto a la relevancia y esencialidad de los modelos para las teorías factuales. Aunque Carnap, en alguna de sus publicaciones, mantiene una posición más radical que la de aquellos, ya que entiende que se puede prescindir totalmente de los modelos en las teorías factuales y que no son componentes de interés en el análisis de las mismas (Cfr. CARNAP [1939], p. 144), mientras que Braithwaite y Nagel admiten la conveniencia de su toma en consideración para el análisis de las teorías factuales como componentes de las mismas aún cuando no sean esenciales dadas las funciones que según ellos tienen -arriba expuestas-.

Merece la pena destacar el punto de vista de C. G. Hempel, en cuanto pensador adscrito a la Concepción Heredada y que plantea diferencias entre los usos de modelo analógico y de modelo teórico. Respecto a la relevancia de los modelos analógicos Hempel mantiene en "Aspects of Scientific Explanation" (Cfr. HEMPEL [1965], Cap. XII, Apdo. 6) un planteamiento semejante al que yo vengo a defender en "El Enredo de los Modelos en los Análisis de las Ciencias Factuales" (FALGUERA [1993]). Así, tras hacer -Hempel- una exposición de los puntos de vista de P. Duhem y de C.R. Campbell respecto al papel de los modelos analógicos en relación con las teorías factuales⁸, somete a discusión dichos puntos de

⁸ La presentación de Hempel resulta, a mi entender, más acertada en la comprensión de los planteamientos sobre modelos analógicos de Duhem y de Campbell que la que se desprende del uso que M. Hesse hace de sus ideas al respecto (Cfr. HESSE [1963], Cap. 1).

vista para hacer ver que: si bien los modelos analógicos *pueden* ser relevantes en lo concerniente al contexto del descubrimiento en ciencia y a la aclaración de cuestiones relativas a la expansión y transformaciones de una teoría factual, no son en ningún caso esenciales (indispensables) para las teorías factuales (*Cfr.* HEMPEL [1965], pp. 426 y ss.).

En lo concerniente a los modelos teóricos el planteamiento de Hempel entiendo que resulta menos satisfactorio. Dos objeciones cabe plantearle. En primer lugar, la identificación de los usos de modelo matemático y modelo teórico. Bajo mi punto de vista un modelo matemático es una de las maneras de expresar modelos teóricos y, además, no todo modelo teórico es expresado mediante un modelo matemático, es decir, mediante formulación matemática. En segundo lugar, y ésta es una objeción de mayor importancia, Hempel termina identificando los modelos teóricos (y matemáticos) como teorías con ciertas limitaciones en su alcance, “en particular cuando se los compara con teorías físicas avanzadas” (HEMPEL [1965], p.438). Hay que recordar que la concepción de teoría factual que Hempel defendía en el momento de la publicación de “Aspects of Scientific Explanation” correspondía a la propuesta de la Concepción Heredada, con pequeñas diferencias. Ello supone ni más ni menos que no concibe los modelos teóricos como componentes de teorías factuales sino como teorías en ciernes o teorías de rango menor. El punto de vista que yo defiendo es que los modelos teóricos son, conforme a la caracterización que previamente he dado de ellos, componentes esenciales de las teorías factuales, pero en cualquier caso entidades de un tipo diferente al de las teorías factuales. Una teoría factual es, bajo este planteamiento que yo asumo, una entidad más compleja pero que puede identificarse a través de la clase de sus modelos teóricos y las leyes específicas mediante las que la teoría da cuenta de -describe, explica, predice- parcelas del mundo externo a través de los modelos. En definitiva, y para ser del todo claro, avanzo que estoy asumiendo la propuesta de caracterización de teoría científica de la Concepción Estructuralista de Filosofía de la Ciencia y, para ello, entiendo que los modelos teóricos corresponden al uso del término ‘modelo’ que se toma en consideración en los análisis de la Concepción Estructuralista (*Cfr.* FALGUERA [1992]). Pero dejemos

este enfoque de momento para retomarlo más adelante, y volvamos sobre los planteamientos de Hempel. En lo que por ahora nos concierne encontramos que del tratamiento que Hempel hace de los modelos en relación con el análisis de las ciencias factuales no puede decirse que resulte una posición clara sobre la cuestión de si bajo los diferentes usos del término 'modelo' cabe admitir una unidad de significado, como hace Suppes.

4. Críticas a la propuesta de P. Suppes: El análisis de McMullin

Sin embargo, hay filósofos de la ciencia que rechazan claramente la propuesta de Suppes. Así, Black en nota a pie de página de su artículo "Models and Archetypes" (BLACK [1962], p.216) indica que no puede aceptar que haya un mismo concepto de modelo en matemáticas (es decir, en semántica formal) y en las ciencias factuales. Por otro lado, P. Achinstein en *Concepts of Science* (ACHINSTEIN [1968]) enfatiza las diferencias entre los distintos usos y se preocupa especialmente en intentar mostrar que los diferentes usos del término 'modelo' para las ciencias factuales⁹ no pueden entenderse como modelos de la semántica formal que proporcionan una *interpretación* del cálculo de una teoría factual. Buena parte de sus objeciones a considerar los modelos de las ciencias factuales como modelos de la semántica formal se deben a su rechazo a la idea de que las teorías se pueden entender como cálculos cuyos términos descriptivos teóricos carecen de interpretación por sí mismos y, en definitiva a aceptar que existan entidades externas a una teoría factual que le proporcionen posibles interpretaciones dispares entre sí. En definitiva está rechazando que una perspectiva semántica interpretacional, que es la que se asume que corresponde al uso de modelo de la semántica formal, sea aplicable en la comprensión metateórica de las teorías factuales. Tal vez buena parte de sus objeciones a dicha propuesta no tendrían lugar de considerar una noción de modelo para semántica formal que corresponda a una perspectiva representacional tal y como defiende J. Etchemendy

⁹ Achinstein establece más distinciones en el uso de modelos para las ciencias factuales que las consideradas en el Apdo. 1 de este trabajo, lo que a mi parecer no es preciso ya que algunas de las distinciones que hace no parecen muy justificadas.

(Cfr. ETCHEMENDY [1988] y [1990]) y yo mismo (Cfr. FALGUERA [1992]).

Pero, no me detendré ahora en los posicionamientos críticos de Black y Achinstein sobre este asunto, sino que quiero hacer una especial mención de la crítica que E. McMullin hace en “What do Physical Models tell us?” (McMULLIN [1968]) de la propuesta de Suppes sobre la unicidad de significado del término ‘modelo’ a pesar de los diferentes usos en las ciencias empíricas y matemáticas (semántica formal). En su crítica McMullin se preocupa por resaltar las diferencias que existirían entre los usos de las ciencias empíricas¹⁰ y el de la semántica formal (Cfr. McMULLIN [1968], p.387).

En su argumentación McMullin establece algunas *consideraciones preliminares* que debemos tener en cuenta. Para él:

- a) Una teoría factual (física) es una entidad lingüística (un conjunto de enunciados) y matemática (un conjunto de fórmulas);
- b) Una teoría factual no es un cálculo sin interpretar.
- c) Una teoría factual no pretende ser una mera descripción de lo que está dado, sino más bien una hipótesis que va más allá de la evidencia. Para ello introduce una estructura (física postulada que está asociada a la teoría).
- d) Dicha estructura postulada es un modelo teórico.
- e) Un modelo teórico no es una entidad lingüística, por lo que no cabe equiparar teoría y modelo teórico.
- f) 1. Un modelo teórico no precisa ser más familiar que los datos a ser explicados -aunque con frecuencia lo sea, no siempre es así-;
- 2. ni es en sí mismo un analógico, aunque puede ser evocado -y con frecuencia lo es- por un modelo analógico;
- 3. ni necesariamente involucra microestructura, puede tener que ver con macroestructuras;

¹⁰ En realidad McMullin no toma en consideración el caso de los modelos a escala, como explícitamente señala, ni el de los modelos matemáticos, aunque no lo indique para estos últimos.

4. ni necesariamente postula inobservables, sólo postula estructuras que conciernen a lo no observado hasta el momento de propuesta de, de generar, el modelo y su teoría.

g) Una teoría factual no puede entenderse como un cálculo sin interpretar, ya que sus símbolos están ya interpretados en la propia formulación de la teoría: No hay teoría factual sin interpretación.

En base a estas consideraciones plantea un par de *razones* por las que no aceptaría equiparar los modelos de las ciencias factuales a los de la semántica formal:

i) Un modelo de las ciencias factuales no es una estructura que interprete un cálculo; la noción de interpretación es propia de los modelos de la semántica formal, pero no de los de las ciencias factuales.

ii) Un modelo de las ciencias factuales sugiere la correspondiente teoría; es, pues, temporalmente anterior a la teoría. Sin embargo, esta peculiaridad en el orden temporal no es aplicable a los modelos de la semántica formal que ni son previos ni posteriores al cálculo que interpretan, conforme al punto de vista de la lógica (de la semántica formal).

En estrecha relación con la segunda de las razones antes esgrimidas, McMullin apunta una *consideración adicional* que concierne a la relación/comparación entre modelos y teorías, a saber:

h) De un 'buen' modelo teórico se espera que sugiera cómo debería modificarse la teoría para obtener nuevos resultados que no se obtienen a partir de la simple primera formulación de la teoría y para afrontar los retos que surjan a medida que se disponga de nueva evidencia.

Hago notar que McMullin centra su análisis en lo que nosotros hemos denominado modelos teóricos por comparación a los modelos de la semántica formal. Sólo en algún momento hace una referencia a lo que denominamos modelo matemático, que él presenta como modelo *fenomenológico*, para referirse a la ecuación que Balmer dio en 1885 para las líneas del espectro del hidrógeno en la posición visible y ultravioleta; y hace esto al hilo de la ilustración que proporciona de su planteamiento sobre los modelos mediante el caso de modelo del átomo de hidrógeno de Bohr.

5. Revisión de las críticas

Parece que Black y Achinstein comparten con McMullin la primera de las razones que éste alega para no aceptar la propuesta de Suppes respecto a la unicidad de la noción de 'modelo'. Sin embargo, esta objeción entiendo que es superable si, aceptando una propuesta de J. Etchemendy, consideramos que la naturaleza de los modelos de la semántica formal es *representacional* y no interpretacional (Cfr. ETCHEMENDY [1988]). Esto supone adoptar una perspectiva semántica representacional y no la perspectiva semántica interpretacional heredada de Tarski (y Bolzano). La perspectiva semántica interpretacional es la que ha dado lugar a que Tarski presentara la noción de modelo para la semántica como interpretación de un lenguaje formal, es decir, como sistemas del mundo-tal-y-como-es para interpretar oraciones bien formadas de un lenguaje formal, a fin de proporcionar definiciones precisas para las nociones de 'verdad lógica' y de 'consecuencia lógica' que fueran adecuadas respecto a las intuiciones que tenemos sobre las mismas. El mayor interés del trabajo de Etchemendy está en mostrar cómo la perspectiva de la semántica interpretacional no proporciona definiciones de 'verdad lógica' y de 'consecuencia lógica' que se adecuen a nuestras intuiciones, y a resultados de ello apuesta por la perspectiva semántica representacional como la correcta (Cfr. ETCHEMENDY [1988] y [1990]) y por considerar los modelos de la semántica formal como representaciones. En sus propias palabras:

Models are just abstract representations of the world, both as it *is* and as it *might have been*. (ETCHEMENDY [1988], p. 95).

Además, señala que la razón por la que la definición de verdad lógica de Tarski funciona, cuando funciona, es porque:

With a few extremely simple languages, it happens that when we hold just the right expressions fixed [in their meaning], the resulting class of sequences, supposedly 'interpretations of the language', serve equally as genuine *models*, as representations of different ways the world might, or ought, to be. In general, though, there's no reason to expect such a fortuitous intersection of these radically different

projects. Reinterpreting the language is one thing; canvassing alternative ways the world might be is something else entirely. (ETCHEMENDY [1988], p.104).

Adoptando este planteamiento de Etchemendy respecto a la naturaleza representacional de los modelos de la semántica formal, yo he tratado de mostrar en otro trabajo (Cfr. FALGUERA [1992]) que la noción de 'modelo' que fundamenta los análisis de la Concepción Estructuralista de Filosofía de la Ciencia (SNEED [1971], STEGMÜLLER [1973], BALZER-MOULINES-SNEED [1987]) debe entenderse bajo esta perspectiva semántica representacional -y esto sería extensible al uso de 'modelo' de la Concepción Semanticista (VAN FRAASSEN [1980], SUPPE [1989], GIERE [1984] y [1988])- Pero, concebidos los modelos de la semántica formal bajo esta perspectiva representacional resultaría que la primera objeción de McMullin no valdría para diferenciar entre los modelos teóricos y los modelos de la semántica formal, o, con mayor precisión, los modelos teóricos de las ciencias factuales podrían considerarse como modelos de la semántica formal. La primera de las objeciones que McMullin señala sería aceptable en la medida en que un modelo de la semántica formal fuera esencialmente una estructura que interpreta un cálculo; pero no lo es en la medida en que se entienda que los modelos de semántica formal no son interpretaciones, sino representaciones que con un aparato conceptual hacemos para concebir -postular- parcelas del mundo. Claro está que esa objeción de McMullin apunta a cómo se ha venido entendiendo el uso de 'modelo' de la semántica formal desde Tarski hasta hoy en día. En ese sentido no debemos olvidar que el propio Suppes operaba -en parte¹¹ - con esta concepción de modelo para la semántica formal, como muestra el hecho de que en alguna ocasión toma como ejemplos de modelos para una teoría factual a estructuras puramente matemáticas -cuyos dominios base son, todos, conjuntos de entidades numéricas- (Cfr. MCKINSEY-SUGAR-SUPPES [1953], p.256), y el que explícitamente

¹¹ Digo "en parte" porque no es tan claro el tratamiento que Suppes realiza de hecho de los modelos, pues difícilmente podría considerarse como interpretaciones de un lenguaje formal lo que él llama 'modelos de experimentos' (Cfr. SUPPES [1962], pp.149 y 158; [1970], 1/12-1/13, [1974]).

indique que la noción de modelo que toma para sus análisis es la de Tarski (Cfr. SUPPES [1960], p.112).

En cualquier caso, adoptando el enfoque de Etchemendy respecto a los modelos de la semántica formal sólo solventaríamos la primera de las objeciones de McMullin respecto a la identificación de modelos teóricos con los modelos de la semántica formal. Si la segunda objeción fuera insalvable, la identificación no sería posible.

Las anteriores referencias a la Concepción Estructuralista deben permitir vislumbrar a quienes conocen ese enfoque que, cuando afirmo que su uso de modelo debe entenderse en la línea de la semántica representacional, estoy asumiendo que ese uso de modelo no es otro que el que hemos identificado aquí como modelo teórico. Por lo tanto, mi consideración de los modelos teóricos de las ciencias factuales no se corresponde a la que se desprende de la segunda objeción de McMullin. A mi entender McMullin concibe de manera excesivamente restrictiva qué es un modelo teórico para una teoría factual. De esta forma entiende que hay *un sólo* modelo teórico para una teoría factual¹² y que dicho modelo teórico es el que propicia el surgimiento de la teoría, concebida ésta como conjunto de enunciados y fórmulas. Pero esto sólo es aplicable a aquel modelo teórico que constituye la representación conceptual de lo que es la primera aplicación propuesta de una teoría factual. Si caemos en la cuenta de que una teoría factual llega a tener, usualmente, varias diferentes aplicaciones y que las representaciones conceptuales de las mismas son de la misma naturaleza que aquel modelo teórico para una primera aplicación propuesta, no veo razón alguna para no considerar también a estas conceptualizaciones como modelos teóricos. De ser así, no cabría decir de manera genérica que los modelos teóricos son temporalmente anteriores a la correspondiente teoría -a la formulación lingüística y matemática de esa teoría, diría yo mejor-. Dada una teoría factual, determinado modelo teórico sería (tal vez en algunos casos) anterior temporalmente a una formu-

¹² Al menos un sólo modelo teórico para cada determinado estado de desarrollo de una teoría factual; de manera que, para un estado inmediatamente posterior de desarrollo de esa teoría el modelo teórico sería reemplazado por otro modelo teórico que guarda una relación de semejanza con el primero.

lación lingüística y matemática de la teoría; pero otros modelos teóricos para esa teoría serían posteriores. Y de la necesidad de dar cuenta de las diferentes aplicaciones propuestas a través de las representaciones conceptuales -modelos teóricos- surge la articulación y complejización de la formulación lingüística y matemática de una teoría. Esto, además, es adecuado para el ejemplo que toma el propio McMullin para ilustrar su análisis, a saber: el modelo del átomo de hidrógeno para la teoría de Bohr (Cfr. McMULLIN [1968], pp. 392-396). Sin duda, un primer modelo de esa teoría tiene que ver con el átomo de hidrógeno, pero la teoría de Bohr pretendía aplicarse desde el principio, y tal y como se desarrolló, a cualquier átomo de cualquier elemento químico. De ahí que no se pueda hablar de un único modelo teórico para la teoría de Bohr.

Hay, por otro lado, un aspecto más que no me convence en el análisis de McMullin relativo a cómo concibe las teorías factuales y su relación con los modelos teóricos -y con ello entro a discutir las consideraciones preliminares de su argumentación-; a saber: aunque McMullin indica que, dada una teoría factual, un modelo teórico está asociado indispensablemente a la teoría, deja también muy claro que teoría y modelo teórico son entidades completamente diferentes. En consonancia con las propuestas de la Concepción Estructuralista me inclino a defender que más bien habría que decir que una teoría factual se identifica por sus modelos teóricos, de manera que éstos son componentes de aquella y no existe una teoría factual como entidad al margen de sus modelos teóricos. Esto no debe entenderse en el sentido de que la formulación lingüística y matemática de una teoría factual carece de importancia. Las formulaciones lingüística y matemática de una teoría factual expresan la manera de darse los modelos teóricos, y de entre ellas son especialmente importantes para identificar la teoría las que expresan las leyes de la teoría en cuestión. Siendo algo más exhaustivos se podría decir que la identificación de una teoría factual viene dada por las leyes de la teoría y por los modelos teóricos que se toman como representaciones postuladas de las aplicaciones propuestas para la teoría¹³. Debe tenerse en cuenta que ambos tipos de

¹³ Ambos componentes conforman lo que Suppes denominó caracterización intrínseca de una teoría -explicitada mediante la definición de un predicado teórico conjuntista- y

componentes son portadores del aparato conceptual propio de la teoría y a través de ellos identificamos ese peculiar aparato conceptual propio de la teoría en cuestión -específico o teórico, y no-específico o no-teórico-. Además de ambos tipos de componentes, debe considerarse el de las constricciones intrateóricas e interteóricas que conciernen a dicho aparato conceptual. Obviamente, la explicitación de estas constricciones contribuye a una más detallada identificación de la teoría y de las peculiaridades ontosemánticas de los términos correspondientes a su aparato conceptual.

En definitiva, no sólo identifico modelos teóricos con los de la semántica formal, sino que además los modelos teóricos aparecen como componentes esenciales para la identificación de una teoría factual.

Hasta aquí he argumentado, contra la opinión de McMullin -así como las de Black y Achinstein-, sobre la pertinencia de identificar los modelos teóricos con modelos de la semántica formal. Evidentemente, esta identificación consiste en hacer caer los modelos teóricos en la clase de los modelos de semántica formal, pero no a la inversa. Las peculiaridades propias de los modelos teóricos hacen que no todo modelo de semántica formal sea un modelo teórico. No obstante, a nadie se le debe escapar que al concebir los modelos teóricos como modelos de la semántica formal no se rechaza globalmente la caracterización que McMullin proporciona de los modelos teóricos y las teorías factuales. Por el contrario, se acepta buena parte de ella. Así, se puede decir que resultan indiscutibles los puntos 'd)', 'e)' y 'f)', relativos a los modelos teóricos, de las consideraciones preliminares arriba recogidas -así como el punto 'g)' de las mismas, relativo a las teorías factuales, como ya hemos explicitado antes-. Más problemática resulta la consideración adicional 'h)'; pero, es evidente que dicha consideración está directamente relacionada con la de que cada teoría factual tiene asociado un sólo modelo y éste precede a la teoría en cuestión; consideración esta última que ya hemos cuestionado, por lo que tampoco el punto 'h)' es aceptable.

6. Propuesta de noción de 'modelo'

Especial importancia merece, a mi parecer, la consideración de McMullin que he recogido arriba bajo el punto 'd)', ya que indica qué es lo más específico de los modelos teóricos y, conforme al planteamiento que aquí he defendido, de los modelos de semántica formal. Es decir, *un modelo teórico es una estructura postulada*. Permítaseme que modifique y mate esa consideración en un intento de formularla de manera más completa y constituir la en caracterización no sólo de modelos teóricos y de modelos de semántica formal, sino de lo que sería una única noción de 'modelo' subyacente a los diferentes usos de las ciencias matemática y factuales. Mi propuesta es la siguiente:

(I) *Un modelo es un sistema mediante el que se postula una representación conceptual de un asunto determinado -real o ficticio- conforme a determinada finalidad. Dicha representación conceptual es un sistema abstracto.*

7. Unidad de noción bajo los usos del término 'modelo'

Tal vez sea conveniente analizar determinados aspectos de esta propuesta a fin de que la misma sea bien comprendida. Lo primero es insistir en que entiendo que esta caracterización no se restringe sólo a los modelos teóricos y a los modelos de semántica formal, sino que es compatible por los modelos a escala, los modelos matemáticos y los modelos analógicos. Ello no quiere decir que las distinciones de usos carezcan de importancia. No se trata de que se haga coincidir los diferentes usos del término 'modelo'. Lo que se supone es que estas distinciones se deben a condiciones específicas que se añaden sobre una misma condición común a los diferentes usos del término 'modelo'¹⁴. Las condiciones específicas concretan la peculiar manera en que se postula un sistema abstracto como representación conceptual de determinado asunto, así como la finalidad que se persigue. La condición común nos da lo que constituye la noción

¹⁴ Aunque aquí sólo considero los usos propios de las ciencias factuales y de semántica formal, existen otros usos propios de contextos no científicos que, bajo mi punto de vista, comparten la misma condición común. Pero, no entraré a justificar esto aquí.

fundamental de *ser modelo* y a dicha noción fundamental le corresponde - al menos así lo propongo- la caracterización (I) antes formulada.

Si lo dicho en el párrafo anterior es cierto, en alguna medida se está dando la razón a Suppes cuando afirma que hay una misma noción de modelo bajo los diferentes usos del término para las ciencias empíricas y matemáticas. Así, podemos afirmar:

(i) Los diferentes usos de la expresión 'modelo' comparten una condición común que es fundamental a su carácter de 'ser modelo', de tal manera que subyace a dichos usos una misma noción de 'modelo'.

(ii) Cada uso de la expresión 'modelo' resulta de establecer condiciones específicas sobre una misma noción base.

Además, hay un segundo sentido en el que entiendo que Suppes tiene razón. Se trata de su consideración de que esa noción, esa unidad de significado del término 'modelo', corresponde propiamente al uso de 'modelo' de la semántica formal. Así planteado, tendríamos que:

(iii) La caracterización (I) corresponde a la noción fundamental de 'modelo', y esa noción fundamental es la que recoge la semántica formal mediante su correspondiente uso de 'modelo'. Por lo tanto, este uso no incorpora condiciones específicas sobre la noción fundamental de 'modelo'.

Habría que añadir que, al aceptar que Suppes tenía razón al establecer que la noción fundamental de 'modelo' corresponde propiamente al uso de la semántica formal, estoy rechazando -como ya argumenté- que ese uso deba entenderse a la manera propuesta por Tarski.

8. Justificación

Pero lo afirmado en (i), (ii) y (iii) precisa ser justificado y para ello hemos de proseguir con la aclaración de la propuesta (I). En esta línea debo resaltar de la propuesta (I) que en ella se afirma la *naturaleza representacional* de los modelos. Los modelos son entidades objetivas que sirven para representar otras entidades (sus asuntos). Aunque debe resultar claro que el papel de representación lo pueden realizar entidades que no son modelos; así, signos convencionales que representan determinada infor-

mación (p.e., señales de tráfico, escudos de armas, logotipos,...) de los que no diríamos que son modelos. Cabría decir que el ámbito de una teoría general de la representación es más amplio que el delimitado por la teoría de los modelos y del modelizar. Me atrevo a pensar que ese ámbito de una teoría general de la representación es el propio de una teoría del signo. Pero no desarrollaré esta idea aquí; sólo quiero señalar que si el ámbito de una teoría de los modelos y del modelizar es más específico conviene resaltar qué es lo peculiar de los modelos.

En esa línea cabe señalar que cuando en (I) se afirma que un modelo es un *sistema*, se está entendiendo que un modelo es una entidad compleja con estructura, es decir, que contiene varios elementos -partes componentes-, los cuales tienen propiedades características y relaciones específicas entre sí: una totalidad organizada.

Ahora bien, podría plantearse si un modelo es una entidad física, o una entidad abstracta o de alguna otra índole, por ejemplo, mental-subjetiva. Lo primero que se puede decir, a fin de responder a esta cuestión, es que un modelo no es una entidad subjetiva sino objetiva y, por tanto, objeto de conocimiento intersubjetivo. Ello supone que un modelo sólo lo es, y sobre todo sólo es utilizable, en la medida en que está presentado mediante algún soporte material (incluyendo aquí a las expresiones -orales, escritas,..- que empleamos para describir los modelos analógicos y teóricos, así como otros procedimientos -de carácter gráfico- empleados en reproducciones bidimensionales). El que un modelo se presente mediante algún soporte material resulta imprescindible para asegurar su carácter intersubjetivo; pero ello no debe llevar a considerar que el modelo está dado sin más en el soporte material mediante el que se presenta.

Conviene recordar que en nuestra propuesta sobre la noción de 'modelo' hemos establecido que un modelo *postula una representación conceptual* de su asunto en función de determinada finalidad, es decir, una manera de concebir su asunto. Ello supone que la relación de modelar está asegurada por la representación conceptual específica que se postula para su asunto. Esta representación conceptual -esta conceptualización- que el modelo proporciona tiene la peculiaridad de tratar al asunto como totalidad con estructura; es decir, el modelo postula determinada

estructura abstracta¹⁵ como adecuada para dar cuenta de su asunto conforme a determinada finalidad.

Atendiendo a lo dicho ningún soporte material (ninguna entidad física) es en sí mismo modelo de nada. Lo es en tanto que tiene asociada una determinada representación conceptual. Tres son los componentes que hasta aquí hemos distinguido en la relación de modelar, a saber: soporte material, representación conceptual (sistema abstracto) y asunto. Ahora bien, lo que es esencial a *todos* los usos de la expresión 'modelo' es la representación conceptual, en el sentido de poder identificar que estamos ante una relación de modelar y de cómo entender esa relación respecto a su asunto. De esta forma hay casos en los que podemos decir, y de hecho así se dice, que el modelo lo conforma el sistema abstracto; por ejemplo, claramente en el caso de los modelos teóricos. En estos casos el soporte material es preciso para la *utilización* de la representación conceptual en su relación modelizadora, pero no se establece la relación modelizadora a partir de propiedades y relaciones reconocidas como propias del soporte material en cuestión. En estos casos el soporte material expresa *convencionalmente* una representación conceptual de un determinado asunto, sin que la representación conceptual en sí misma tenga que considerarse convencional respecto a su asunto.

Se dan otros casos en los que la representación conceptual se establece a partir de propiedades y relaciones reconocidas como propias del soporte material; por ejemplo, claramente en el caso de los modelos a escala. En estos otros casos la relación modelizadora depende directamente de la peculiar manera en que está configurado el soporte material. Pero en estos casos no interesa el soporte material por todas las propiedades y características reconocidas como propias, sino por aquellas que permiten establecer una determinada representación conceptual que se proyecta sobre

¹⁵ Utilizo la expresión 'estructura abstracta' como abreviatura de 'estructura de un sistema abstracto'. Entiendo ahora 'sistema' como entidad compleja con estructura, y 'estructura' como la red de relaciones específicas bajo las que están organizados los elementos -partes componentes- de una entidad compleja. Aunque estrictamente no es indistinto hablar de 'sistema' y de 'estructura', pueden utilizarse como si lo fueran. El sentido apuntado de las expresiones 'sistema' y 'estructura' es muy general y no-técnico.

el asunto en cuestión. También en estos otros casos la representación conceptual juega el papel primordial en la relación de modelar, pero directamente dependiente del soporte material.

Si aceptamos lo dicho hasta aquí, no es posible establecer de manera general ni que los modelos son entidades concretas (físicas) ni que son entidades abstractas, pero sí debemos asumir que lo esencial de un modelo es *el sistema abstracto que postula*, aunque en determinados casos, y atendiendo a la finalidad dada al modelo, éste sea directamente dependiente del soporte material en que se presenta.

Para finalizar estos comentarios aclaratorios a la propuesta dada sobre la noción de modelo parece conveniente resaltar cómo la *finalidad* prevista para un modelo determina *qué* va a tomarse en consideración para postular la representación conceptual.

Si releemos ahora las descripciones proporcionadas al comienzo de este trabajo de los cuatro tipos de usos de la expresión 'modelo' propios de las ciencias factuales, no debe resultar difícil ver que nuestra propuesta sobre la noción de 'modelo' es adecuada para los casos de 'modelo analógico', de 'modelo matemático' y de 'modelo teórico'. Quizá el caso de 'modelo como reproducción a escala' exija algún comentario: Debe resultar obvio que en este último caso las reproducciones no hacen otra cosa que plasmar en determinado material, configurándolo -dándole estructura-, aquellos aspectos del asunto a reproducir que son considerados relevantes en función de la finalidad que se le pretende dar a la reproducción; por lo tanto, una reproducción-material-concreta plasma -o eso se busca que haga- la abstracción conceptual que se establezca del asunto conforme al uso que se quiera hacer de la reproducción, es decir, proporciona de una manera inmediata el sistema abstracto postulado para el asunto. La representación conceptual que se haga del asunto también es fundamental en el caso de los modelos como reproducción a escala.

En lo que respecta a los modelos de la semántica formal he indicado que son los que propiamente responden a la caracterización que hemos dado de la noción de 'modelo' mediante (I). Las razones que justifican esto se fundamentan en la consideración de que la semántica formal se debe concebir en la perspectiva representacional. Si así lo concebimos,

encontramos que un modelo de la semántica formal no sería otra cosa que un sistema abstracto que establece cómo es o cómo podría ser una parcela del mundo. De esta forma lo que es fundamental al carácter de modelo en cualquiera de los usos aquí considerados viene dado por lo que denominamos un modelo de la semántica formal. No parece preciso que haga más hincapié al respecto.

Queda, por lo tanto, justificado que hay una unidad de noción de 'modelo' bajo los diferentes usos del término 'modelo' propios de las ciencias factuales y de la semántica formal, y que esta unidad de significado corresponde al uso de la semántica formal. Insisto en que hablar de constancia de significado a través de los diferentes usos no es lo mismo que hablar de coincidencia de usos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹⁶

- ACHINSTEIN, P. [1965] "Theoretical Models", en: *British Journal for the Philosophy of Science*, 16: 102-120.
- [1968] *Concepts of Science. A Philosophical Analysis*. The Johns Hopkins Press. Baltimore and London.
- BALZER, W.-MOULINES, C.U.-SNEED, J.D. [1987] *An Architectonic for Science: The Structuralist Programm*. Reidel. Dordrecht.
- BLACK, M. [1962] "Models and Archetypes", en: *Models and Metaphor*. Cornell Univ. Press. Ithaca, pp. 219-243. (Vers. Cast.: "Modelos y Arquetipos", en: *Modelos y Metáforas*. Tecnos. Madrid-1966, pp. 216-238).
- BRAITHWAITE, R.B. [1959] *Scientific Explanation*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. (Vers. Cast.: *La Explicación Científica*. Tecnos. Madrid-1965).

¹⁶ En aquellos casos en los que exista Versión Castellana y esté aquí especificada, las páginas a las que se hace referencia en el texto remiten a dicha versión.

- CARNAP, R. [1939] *Foundation of Logic and Mathematics*. Univ. of Chicago Press. Chicago. (Vers. Cast.: *Fundamentos de Lógica y Matemáticas*. Taller de Ediciones Josefina Betancor, Madrid-1975).
- ETCHEMENDY, J. [1988] "Models, Semantics and Logical Truth", en: *Linguistics and Philosophy*. 11: 91-106.
- [1990] *The Concept of Logical Consequence*. Harvard Univ. Press. Cambridge-London.
- FALGUERA, J.L. [1992] "La Noción de Modelo en los Análisis de la Concepción Estructuralista", *Agora. Papeles de Filosofía*, 11/I: 97-104.
- [1993] "El Enredo de los Modelos en los Análisis de las Ciencias Factuales", *Agora. Papeles de Filosofía*, 12/2:171-178.
- GIERE, R.N. [1984] *Understanding Scientific Reasoning*. Holt, Rinehart and Winston. New York.
- [1988] *Explaining Science. A Cognitive Approach*. The Univ. of Chicago Press. Chicago and London.
- HARRÉ, R. [1970] *The Principles of Scientific Thinking*. McMillan. London.
- HEMPEL, C.G. [1965] "Aspects of Scientific Explanation", en: *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in Philosophy of Science*. The Free Press. Toronto. (Vers. Cast.: "Aspectos de la Explicación Científica", en: *La Explicación Científica*. Paidós. Barcelona-1979, pp. 329-485).
- HESSE, M. [1963] *Models and Analogies in Science*. Sheed and Ward. London and New York.
- McKINSEY, N.C.C.-C. SUGAR-P. SUPPES [1953] "Axiomatic Foundations of Classical Particle Mechanics", en: *Journal of Rational Mechanics and Analysis*, II: 253-272.
- McMULLIN [1968] "What Do Physical Models Tell Us?", en: B. Van ROTSELAAR y J.F. STAAL (Eds.) *Logic, Methodology & Philosophy of Science III*, pp.385-396. North-Holland. Amsterdam.
- NAGEL, E. [1961] *The Structure of Science*. Horcourt, Brace & World, Inc. New York. (Vers. Cast.: *La Estructura de la Ciencia*. Paidós, Barcelona-1981).
- REHEAD, M. [1980] "Models in Physics", en: *The British Journal for the Philosophy of Science*, 31:145-163.
- SNEED, J.D. [1971] *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Reidel. Dordrecht.
- STEGMÜLLER, W. [1973] *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Springer. Heidelberg. (Vers. Inglesa: *The Structure and Dynamics of Theories*. Springer. New York-1976).