

Modelos en ciencia y ficción literaria: posibilidades de una nueva perspectiva a través de la Teoría Artefactual

Juan Redmond

Centro de Filosofía de las Ciencias, Facultad de Ciencias,
Universidad de Lisboa, Lisboa, Portugal
juanredmond@yahoo.fr

Diego L. Valladares

Departamento de Física, Univ. Nac. de San Luis
San Luis, Argentina
dvalla@unsl.edu.ar

Abstract

This work presents a project that aims to develop a view of scientific model systems (MS) based on the artefactual theory (AT) of Amie Thomasson. At the starting point we argue that the practice of modeling in science shares important aspects with the creation and handling of fictional entities introduced in novels and other forms of literature. We aspire to profit from this analogy in order to deepen our knowledge about the nature of MS, particularly discussing the following issues: What kind of things are MS? What makes statements about them to be true or false? What relation does the MS have to bear to the target that the model is trying to explain? And what is the role of conscious users when representing something by MS? Our claim is that the AT, as it was developed by the dialogically pragmatic approach, has the necessary theoretical resources to answer these questions.).

Keywords: models, fiction, artefactual theory, make-believe, dialogic

Resumen

Este trabajo presenta un proyecto que tiene por objetivo elaborar una perspectiva de los modelos científicos basada en la teoría artefactual de Amie Thomasson. Como punto de partida argumentamos que la práctica de modelización en ciencia comparte aspectos importantes con la creación y manejo de las ficciones literarias. Aspiramos a aprovechar esta analogía con el fin de profundizar nuestros conocimientos sobre la naturaleza de los modelos, especialmente discutiendo los siguientes puntos: ¿qué cosa son los modelos utilizados en ciencia? ¿Qué hace verdaderas o falsas las afirmaciones sobre modelos? ¿Qué relación posee el modelo con su sistema-objetivo? ¿Cuál es el rol de los científicos en el proceso de representarse algo a través de modelos? Nuestra convicción es que la teoría artefactual de Amie Thomasson, tal y como ha sido desplegada en la perspectiva del pragmatismo dialógico, posee los recursos teóricos necesarios para responder a estas preguntas.

Palabras claves: modelos, ficción, Teoría Artefactual, make-believe, dialógica

1. INTRODUCCION

El concepto de modelo se encuentra ligado fuertemente al concepto de teoría científica, en especial a la concepción semántica de teoría, recibiendo cada vez mayor atención por parte de los filósofos de la ciencia. No existe un uso unívoco del término de modelo, pese a ello, se trata de un concepto central dentro de la práctica científica. En disciplinas como la biología, la química, la economía y en muchas áreas de la física, los modelos reformulan el concepto de teoría, dirigiendo el trabajo diario de los científicos y constituyéndose como la base explicativa de los fenómenos. Si bien la práctica científica basada en el uso de modelos tiene antecedentes en etapas tempranas del desarrollo de la ciencia, es en la actualidad donde el uso de modelos se ha intensificado. La posibilidad que brindan las actuales capacidades del cálculo que incorpora modelos para el análisis de procesos, es un aspecto importante que sin duda ha casi universalizado el uso de modelos en muchas áreas, como por ejemplo la microeconomía o la física estadística.

No existe, ni ha existido en el pasado un criterio unánime sobre el papel central que tienen los modelos en la práctica científica. Así por ejemplo, Duhem [1] advertía sobre la necesidad de no confundir la construcción de modelos en ciencia con la teorización científica. En efecto, Duhem argumenta que la elaboración de modelos no tiene un lugar real en ciencia, más allá de un rol heurístico menor. Por ello, la ciencia debía ser la elaboración de teorías, es decir, la construcción de estructuras clasificatorias o representativas, formuladas en un lenguaje simbólico preciso. Con algunas modificaciones este punto de vista fue dominante durante la fase de desarrollo del positivismo lógico, en el círculo de Viena y en el grupo de Berlín [2,3].

Los primeros testimonios de resistencia contra esta perspectiva pueden reconocerse en los trabajos de Campbell [4] y Hesse [5], quienes enfatizan la importancia de los modelos para la teorización científica. Ya en las décadas del 70 y del 80 las perspectivas habían cambiado. Por un lado, el enfoque positivista de las teorías en tanto cálculo lógico parcialmente interpretado (referidas actualmente como "enfoque sintáctico de las teorías") fue reemplazado por el llamado enfoque semántico, que entiende las teorías como una colección de modelos [6]. En forma paralela, emerge una tradición en Filosofía de la Ciencia que enfatiza la importancia de la práctica científica para el análisis lógico, ubicando los modelos en el corazón de las consideraciones filosóficas de la práctica científica [7]. Como indica Dieguez, se ha llegado a afirmar que fue la incapacidad de incorporar el concepto de modelo dentro de la descripción de la práctica científica, uno de los factores más importantes que determinaron el declive del positivismo científico [8]. Con respecto al papel que juegan los modelos en la práctica científica, F. Suppe manifiesta:

... Comencé "La estructura de las teorías científicas" afirmando que el problema más central o importante en Filosofía de la Ciencia es la naturaleza y estructura de las teorías ... ya que las teorías son el vehículo del conocimiento científico y están implicadas de un modo u otro en la mayor parte de los aspectos de la empresa científica. ¡Pues no se crean esto ni por un instante! Hoy en día gran parte de la ciencia es atórica, como lo era entonces. Por ejemplo, el desarrollo de teorías es incidental en la mayor parte de la química actual. La tarea de la mayoría de las ciencias experimentales y observacionales es modelizar datos -de forma creciente además a medida que la ciencia se ha hecho computacionalmente intensiva. Hoy día los modelos son el vehículo del conocimiento científico. (pag. 109 en ref. [9]).

En nuestros días son cada vez más numerosos los enfoques filosóficos que entienden la ciencia como una actividad que se propone representar partes del mundo con la ayuda de modelos científicos. En este sentido, las preguntas al respecto de qué son los modelos y cómo representan el mundo se han convertido en centrales para la Filosofía de la Ciencia. Este trabajo discute la posibilidad de usar la Teoría Artefactual de A. Thomansson [10] con el fin de tener una perspectiva

diferente de los modelos en ciencia, y se argumenta en favor de la adecuación de esta teoría para abordar con éxito cuestiones fundamentales vinculadas con el uso y la naturaleza de modelos científicos. El trabajo se estructura del siguiente modo. En primer lugar en la sección 2, se discute el concepto de modelo en ciencia y se propone una clasificación que pone especial atención en aquellos modelos que tienen como propósito representar algo, a los cuales denominamos modelos de fenómeno. En la sección 3 se presentan los argumentos que fundamentan la analogía entre modelos y ficción literaria, describiéndose además, la propuesta de R. Frigg de utilizar la teoría de la simulación de K. Walton a fin de analizar la naturaleza del proceso de modelización en ciencia. En la sección 4, se presenta un resumen de la Teoría Artefactual y se describen lo que a nuestro entender son falencias de la perspectiva de Frigg, que pueden ser superadas utilizando la Teoría Artefactual. Luego, en la sección destinada a las conclusiones, se enumeran las ventajas que tiene la interpretación de los modelos desde la Teoría Artefactual que son el punto de partida de nuestro trabajo futuro.

2. MODELOS, CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN

La noción más extendida y hasta cierto punto más restringida, identifica a los modelos con representaciones ideales o simplificadas que ayudan a la comprensión de sistemas reales más complejos. Puede decirse también que un modelo es una representación elaborada en el curso de una práctica científica, que tiene como propósito ampliar el caudal de conocimientos de la disciplina. En general, se trata de un estilo de trabajo teórico en el cual es introducida una representación con fin de explicar, ejemplificar o comprender teorías, fenómenos o algún sistema físico particular. Los modelos son elaborados para ser utilizados como pruebas de ciertos presupuestos o hipótesis, para refutar teorías o interpretaciones, para ejemplificar consignas teóricas, para visualizar o interpretar lo detallado por reglas o axiomas en un lenguaje sintáctico, para proponer una explicación que permita interpretar y anticipar ciertos fenómenos, sólo por mencionar los usos destacados. Investigadores de diferentes áreas consolidan gran parte de sus proyectos construyendo, probando, comparando y revisando modelos, y por ello el uso de modelos es de central importancia en muchas ciencias. Otro usos del término modelo, igual de válidos, no se corresponden con esta caracterización puesto que, o bien se trata de modelos para trabajos artísticos (aquello a partir de lo cual se realiza una pintura o una escultura), o bien el uso que se le da en la moda a los individuos que muestran los diferentes productos.

Se ha desarrollado una extensa tipología de modelos, en la cual por un lado se puede apreciar la fertilidad del concepto, pero por otro muestra la necesidad de mejorar su categorización. Así es usual que en la práctica científica se haga referencia a modelos de sondeo, modelos fenomenológicos, modelos computacionales, modelos de desarrollo, modelos didácticos, modelos teóricos, modelos a escala, modelos heurísticos, modelos matemáticos, etc.

A pesar de la diversidad de modelos y de las diferentes prácticas que los caracterizan, se pueden identificar aspectos comunes referidos a su naturaleza, como por ejemplo, cuestiones de carácter semántico como ¿qué y cómo representan los modelos aquello que se propone alcanzar?; de carácter ontológico como ¿qué son los modelos?; cuestiones vinculadas a la epistemología como ¿cómo aprendemos con ellos?; o vinculadas a la filosofía de la ciencia como ¿cuál es su relación con la teoría? o ¿qué implicancia tiene su consideración sobre los debates sobre el realismo científico, reduccionismo, explicación científica y el concepto de ley natural? Abordar estas

cuestiones puede conducir a una comprensión más precisa de su naturaleza, y entre otras posibilidades, permitiría establecer una mejor categorización de los modelos.

A pesar de no conducir a una clasificación estricta, ya que pueden existir modelos que pertenecen a más de una categoría, es útil usar un criterio de demarcación que tiene en cuenta: a) los elementos a partir de los cuales es elaborado el modelo, i. e. su fuente; b) aquello que el modelo se propone alcanzar.

Según la fuente o los elementos con los cuales son elaborados, los modelos pueden ser divididos según hayan sido creados o producidos principalmente en relación con fenómenos o en relación con bases teóricas. En relación con fenómenos significa que el modelo deriva principalmente de datos fenoménicos o que la principal fuente de información a partir de la cual es elaborado un modelo son datos directos (datos sin procesar) provenientes de una fuente fenoménica. Llamamos datos directos a aquellos medidas de magnitudes que caracterizan a un fenómeno que poseen una mínima carga teórica, por ejemplo la medición de las alturas de niños destinadas a realizar algún estudio estadístico en particular. En esta distinción no estamos teniendo en cuenta las críticas que afirman que no es posible hablar de fenómenos sino a la luz de una teoría y que una teoría no es tal sino en función de ciertos fenómenos que la justifican.

Según aquello que se proponga alcanzar un modelo, pueden distinguirse los siguientes tipos: modelos de fenómenos, modelos de datos y modelos lógico-matemáticos. Se trata de un modelo de fenómeno si el propósito del modelo es amoldarse a un sistema-objetivo que es reconocible como fenómeno, independientemente de que la fuente del modelo sean fenómenos o una base teórica. En el caso de los modelos de datos, el propósito es dar coherencia, prolijidad o uniformidad a los datos sin procesar provenientes de los fenómenos. Los modelos lógico-matemáticos tienen el propósito de ejemplificar o interpretar contenidos teóricos abstractos y también de servir de “banco de pruebas” de teorías. Llamaremos “modelizar” a la práctica científica en la cual se elaborara un modelo y se lo utiliza con cualquiera de los propósitos antes mencionados.

La palabra fenómeno es usada en un sentido amplio y pretende abarcar todo el espectro de acontecimientos, manifestaciones, sucesos o cualidades que resulten interesantes desde un punto de vista científico. Frente a esto tenemos diferentes puntos de vista, por ejemplo empiristas como Bas van Fraassen [11] sólo consideran los observables como fenómenos, mientras que realistas como Bogen y Woodward [12] no tienen un punto de vista tan estricto respecto a esto.

Un modelo de datos es una versión corregida y estilizada de datos directos [13]. Se trata de la presentación nítida, clara y ordenada (siguiendo un cierto patrón) de datos recolectados en una experiencia científica. Este tipo de modelos poseen un rol crucial en la etapa de confirmación de una teoría científica, ya que los datos predichos por la teoría se comparan con el modelo de datos y no con los datos sin procesar. Por ejemplo, para verificar las predicciones de la mecánica para las órbitas de objetos en el Sistema Solar, los astrónomos eliminan datos que a su juicio no se ajustan a un patrón curvilíneo u ordenado y comparan los datos restantes (modelo de datos) con la predicción teórica. La construcción de modelos de datos puede ser extremadamente complicada teniendo en cuenta, entre otras cosas, el carácter cuestionable o arbitrario de las bases a partir de las cuales decidimos qué datos deben ser eliminados. Es posible que Tycho Brahe hubiera obtenido un modelo de datos ajustado a la suposición de circularidad de las órbitas de los planetas, descartando tal vez

así los 8'' de arco que dieron a Kepler la posibilidad de postular la acertada elipticidad de las mismas.

El tipo modelo lógico-matemático coincide aproximadamente con lo que se entiende por modelo en la perspectiva semántica de las ciencias. En efecto, el enfoque semántico es un intento de representar la estructura de las teorías utilizando la noción de modelo [6,13-15]. En relación al enfoque semántico de las teorías y siguiendo a Godfrey-Smith [16], se pueden remarcar dos ideas centrales: el análisis semántico es aplicable a todas las teorías científicas, la noción de modelo es interpretada en el sentido lógico del término o relativamente próximo a él.

El enfoque semántico se inicia como una aplicación de metalógica y teoría de conjuntos a la estructura general de las teorías [14]. El rol que debe cumplir aquí un modelo es derivado del rol que cumple este concepto en las disciplinas formales. Un modelo, básicamente, es un conjunto de objetos y sus relaciones, que funciona como estructura interpretativa para un conjunto de enunciados. Formalmente, una estructura es una entidad del tipo $S = \langle U, O, R \rangle$, compuesta de un conjunto U no vacío de individuos llamado dominio o universo; un conjunto de operaciones O entre los elementos de U y un conjunto R de relaciones en U . Un modelo sería es aquello que es verdadero para un conjunto de enunciados. Los modelos usados en este sentido, ayudan a comprender cualquier tipo de teoría, enunciados o representaciones con contenido enunciativo. Incluso ayudan a pensar formalmente las teorías científicas. Se trata de poder comprender el significado de una representación centrándose en las características formales de estructuras que son verdaderas de esas representaciones. Muchos modelos en ciencia poseen esta característica, especialmente en Física. El modelo "péndulo ideal" es una realización particular de leyes generales, las leyes de Newton, más que un modelo de fenómeno que intenta representar un péndulo real.

2.1. Modelos de fenómenos

Como se indicó, el rasgo característico de un modelo de fenómeno es su propósito de representar un sistema-objetivo. Se puede considerar una distinción entre modelos singulares que representan un sistema-objetivo en particular y modelos genéricos que representan una multiplicidad de sistemas-objetivo. Un ejemplo de modelo singular es el caso del sistema heliocéntrico propuesto por Copérnico, ya que su sistema-objetivo es el Sistema Solar. Mientras que un ejemplo de modelo genérico lo constituye el modelo atómico de Bohr, pues no pretende representar ningún núcleo atómico en particular, sino que tiene como sistema-objetivo la estructura atómica de todos los elementos. Cabe notar que en algún momento de su desarrollo posterior a su creación, un modelo de fenómeno singular puede transformarse en un modelo de fenómeno genérico.

Un caso particular de modelo de fenómeno derivado de bases teóricas es aquel en que se reinterpretan consignas de una teoría, por ejemplo, si tomamos la matemática utilizada en la Teoría Cinética de Gases y reinterpretamos los términos del cálculo de modo que se refieran a la dinámica del movimiento e interacción de bolas de billar, el sistema "bolas de billar" es un modelo de fenómeno, pues el sistema-objetivo es un fenómeno (los gases) y su fuente es teórica pues se trata de una reinterpretación de consignas de la Teoría Cinética de los Gases [17].

La relación entre los modelos de fenómenos y los tipos de sistema-objetivo que el modelo busca representar, nos lleva a dos cuestiones. Por una parte, como remarca Frigg, cabe notar que la pregunta por los fundamentos sobre los cuales entendemos que una cosa representa a otra ha sido del mayor interés en estética y ciertas ramas de la psicología, pero no en Filosofía de la Ciencia [17]. ¿Sobre qué base entendemos que un modelo de fenómeno mantiene estrechos vínculos con aquello que, decimos, representa o al cual busca amoldarse? Por otra parte, cuál es la característica distintiva de las representaciones que se utilizan en la práctica científica por modelos. Existe una gran variedad y muchas veces dos o más modelos de fenómeno representan un mismo sistema-objetivo. Un caso típico de esta situación lo constituyen los distintos modelos nucleares; tanto el modelo del gas de Fermi, el modelo colectivo, el modelo de la gota y el modelo de capas poseen como sistema-objetivo el núcleo atómico, explicando cada uno un número limitado de propiedades nucleares [18].

En general, la literatura utiliza las categorías de modelos idealizados, modelos analógicos y modelos fenomenológicos, para distinguir diferentes tipos de modelos de fenómeno, tomando como criterio de demarcación, los distintos estilos de representación que poseen cada uno.

El modelo idealizado es un modelo de fenómeno cuya representación es una idealización, entendida como una simplificación deliberada de algo complejo, con el propósito de hacer posible el tratamiento del sistema-objetivo. Se distinguen dos tipos de idealizaciones, las aristotélicas y las galileanas [17]. Una idealización aristotélica es aquella en la cual deliberadamente se ignoran propiedades del sistema-objetivo, ya sea por considerarlas irrelevantes o porque permiten al modelo cumplir su propósito. Esto posibilita considerar un número limitado de propiedades del sistema-objetivo en aislamiento. Ejemplo de un modelo idealizado es el modelo de un cuerpo en movimiento de caída libre a través de la atmósfera, la fricción es en este caso considerada irrelevante a los efectos del análisis del movimiento del cuerpo. En este tipo de idealizaciones se habla también de “abstracción”, supuestos descartables y de método de aislamiento.

Las idealizaciones galileanas contienen distorsiones deliberadas. A veces se trata de características asumidas para la totalidad del modelo. Ejemplo de este tipo de modelos lo constituyen los modelos que suponen que las masas son puntuales en Física, los modelos económicos en que los agentes son omniscientes, o los modelos de poblaciones aisladas en Biología. Es difícil clasificar un modelo como una idealización galileana o aristotélica debido a que los modelos de fenómenos poseen características de una y otra categoría, como es el caso de los modelos de sistemas planetarios que consideran sólo ciertas propiedades que interesan a la mecánica de mismo y suponen que sus componentes son cuerpos esféricos con una distribución de masa uniforme. Tanto para una práctica de modelización que no tiene en cuenta ciertas propiedades del sistema-objetivo, como aquella que las distorsiona, cabe preguntarse por la idoneidad del modelo obtenido. En general, cabe preguntarse cómo es que un modelo de este tipo puede hablarnos de la realidad. Más aún teniendo en cuenta que ambas idealizaciones no son exclusivas y a menudo está presentes en un mismo modelo.

Los modelos por analogía son aquellos en que las similitudes entre el modelo y el sistema-objetivo es el vínculo que da fundamento a la relación de representación, i.e. modelo y sistema-objetivo son objetos análogos. Un modelo por analogía puede ser creado totalmente, puede ser un objeto ya existente o puede utilizarse otro modelo previo para representar al sistema-objetivo. Siguiendo a

Hesse, existen tres tipos de relaciones de similitud que se utilizan en los modelos por analogía [19]. Un primer tipo ocurre cuando modelo y sistema-objetivo comparten propiedades, como cuando un objeto idéntico en forma es utilizado como modelo de otro en una experiencia para caracterizar deformaciones, producto de una colisión. En el segundo tipo, modelo y sistema-objetivo poseen propiedades similares, por ejemplo cuando se usa un circuito RLC como modelo por analogía a un sistema masa-resorte amortiguado. El tercer tipo ocurre cuando el modelo comparte con el sistema-objetivo el mismo patrón de relaciones abstractas, como cuando se utiliza la relación entre padre e hijo como modelo para comprender aspectos de la relación entre el gobernante y los habitantes de una nación.

Se clasifica como modelos fenomenológicos a los modelos en que la relación de representación está basada en propiedades observables, sin intervención de ninguna teoría. En una perspectiva similar, McMullin llama así a los modelos que son independientes de las teorías [20]. Pero esto último, como señala Frigg [17], parece ser muy estricto puesto que muchos modelos que no son derivados directamente de una teoría, y que por tanto pueden situarse en la categoría de modelos fenomenológicos, incorporan principios y leyes asociadas a teorías. El modelo de la gota que describe parcialmente propiedades del núcleo atómico incorpora magnitudes como la tensión superficial o la carga eléctrica que tienen su fundamento en desarrollos teóricos de la Hidrodinámica y el Electromagnetismo.

Todo modelo de fenómeno es una idealización, en el sentido de que es producto de la imaginación, ya sea que se trate de puras idealizaciones que no tienen en cuenta algunas propiedades del sistema-objetivo o que las deformen, ya sea que el modelo pretenda ceñirse a las propiedades observables del sistema-objetivo, o que tome como modelo a un objeto existente en la naturaleza, en virtud de analogías que existen con aquello a lo cual pretende representar.

Los modelos de fenómenos son introducidos en una práctica científica mediante una descripción. Es importante notar que un modelo no se reduce a su descripción, de lo contrario podríamos interpretar que distintas descripciones de la misma relación de representación y sistema-objetivo, hechas por ejemplo en diferentes lenguajes, definen distintos modelos.

Como señalamos, una práctica científica basada en modelos es un estilo de trabajo teórico en el cual es introducido e investigado un modelo. Al presentar un modelo de fenómeno, los científicos realizan dos tipos de actos: por una parte introducen como objeto de estudio lo que puede ser entendido como una entidad imaginaria, abstracta, hipotética, y por otra, afirman que el objeto de estudio introducido es una representación de una parte o aspecto particular del mundo en el cual la práctica científica está interesada. Si bien se trata de idealizaciones, en cierto sentido son similares al sistema-objetivo al cual intentan amoldarse. Cada modelo es algo que sería concreto si fuera real. Si bien el propósito del modelo es amoldarse a un sistema-objetivo, no pretende reproducirlo exactamente. El modelo debe guardar ciertas diferencias con el sistema-objetivo que son fundamentales, pues de lo contrario perdería sentido su incorporación a la práctica científica. Esta similitud puede entenderse más claramente, según creemos, en términos de los conceptos de maleabilidad y aproximación.

Consideremos como ejemplo el caso de Copérnico y su modelo heliocéntrico del sistema planetario. El modelo heliocéntrico representaba el Sistema Solar guardando específicamente las proporciones

(las formas y distancias entre sus partes) y reproduciendo el tipo de movimiento que era adjudicado al sistema real (movimiento circular uniforme). La diferencia más importante con el sistema-objetivo viene dada, entonces, por su maleabilidad. El modelo heliocéntrico es un reajuste a escala humana de un sistema-objetivo que de otro modo sería intratable. El carácter aproximativo del modelo copernicano fue subrayado por Kepler: se trata de una representación elaborada sobre la base de hipótesis y de datos de diferente clase y origen, que tiene por objetivo amoldarse con el sistema-objetivo, aunque esto normalmente no sucede de modo completo. Este carácter aproximativo no hace de los modelos representaciones imperfectas, sino un instrumento de carácter metodológico elaborado con el fin de explicar o entender un sistema-objetivo. El caso de Copérnico y el modelo heliocéntrico no es más que un ejemplo que no agota toda la extensa dimensión de la práctica científica mediante el uso de modelos.

Se puede identificar en las descripciones de algunos modelos de fenómeno las siguientes características:

a) Espacialidad: un modelo de fenómenos, en tanto representación que se propone alcanzar un objeto o porción del mundo real, posee proporciones tridimensionales, cualidad que le posibilita ajustarse armónicamente a la forma de lo representado.

b) Temporalidad: se introduce la variable tiempo que permite describir el comportamiento dinámico del modelo, posibilitando incorporar variables como velocidad, aceleración, cantidad de movimiento, etc.

c) Propiedades y condiciones: propiedades que posee el modelo de fenómeno y condiciones a las cuales está sometido, por ejemplo dureza, viscosidad, resistencia, rozamiento, campos, etc.

3. MODELOS Y FICCIÓN

En esta sección postulamos la existencia de una relación de semejanza entre modelos de fenómenos y ficciones. Creemos que es posible analizar la naturaleza de los modelos y la práctica de modelización en ciencia a partir de teorías inicialmente pensadas para abordar problemas filosóficos relacionados con la naturaleza de las ficciones. Como se mencionó anteriormente, de los diferentes tipos de modelos que utilizan los científicos como objeto de estudio, nuestro trabajo se focaliza en los modelos de fenómenos, i.e., modelos que no tienen existencia física (no se encuentran situados en el espacio-tiempo) y tienen como propósito representar un sistema-objetivo. Respecto del término “modelización”, nos referimos a la práctica de crear, describir y usar modelos. Antes de describir las razones que justifican la analogía propuesta, es conveniente explicitar qué entendemos por ficción.

El término ficción en este trabajo se refiere a la ficción literaria. En efecto, en la ficción literaria reconocemos un argumento, personajes y objetos reales e inventados que involucra la historia. Aquí tenemos entonces cuestiones que conciernen tanto la verdad o falsedad de los enunciados que componen la historia, como así también los problemas de referencia e identidad de los objetos y personajes incluidos en la historia. En otras palabras, desde un punto de vista filosófico, un texto

literario entrama tanto cuestiones semánticas como ontológicas. En particular para nuestro proyecto interesan ambos enfoques y las contribuciones que pudieran ser fructíferas para el estudio de modelos de fenómenos.

La práctica de modelización comparte importantes aspectos con el acto de creación y tratamiento de los objetos de ficción en novelas y otras formas de literatura. Existen varias razones que justifican y hacen fructífera la analogía entre modelo y ficción. Como primera razón se observa que, de manera similar a la descripción de un personaje o situación en una novela o un cuento, los textos científicos contienen innumerables y extensas descripciones de objetos que no existen, cuyo objetivo es que el lector imagine el objeto en cuestión. Es el caso de los planos sin rozamiento, los planetas perfectamente esféricos y las barreras de potencial infinitas en Física; las poblaciones aisladas y las tasas de reproducción constantes en Biología; y los agentes perfectamente racionales, transacciones sin costos y precios rigidos por leyes absolutamente deterministas en modelos de Economía.

En segundo lugar vemos que en la descripción de un modelo se definen algunas de sus propiedades y al igual que en el caso de un personaje de ficción, se entiende que el modelo posee propiedades no definidas en el acto de creación inicial, es decir, propiedades distintas y complementarias a las enumeradas en la descripción. A pesar de que no está explícitamente dicho en la descripción del objeto de ficción o modelo, como todo ser humano (existente), el personaje de ficción Hercule Poirot debe dormir y los planetas del modelo newtoniano del sistema solar deben verificar las leyes de conservación de la Física.

En tercer lugar, otra razón que da sentido a la analogía entre modelo y ficción, es el uso de reglas de inferencia. Las historias contadas en las novelas no se agotan en el texto del libro, sino que inducen al lector a formar un marco contextual a través de reglas de inferencia. Esto permite por ejemplo a J. Verne continuar la narración del viaje de Arthur Gordon Pym de E. A. Poe y darle un final lejos de las posibles intenciones del creador del personaje [21]. Similar situación ocurre en la práctica de modelización pues las reglas de inferencia permiten derivar propiedades que le dan verdadera vida propia al modelo. Es la emergencia de estas propiedades durante el desarrollo post-creación de un modelo lo que da utilidad a la práctica de modelización. El modelo de Ising es un ejemplo paradigmático para ilustrar este punto. Inicialmente propuesto para estudiar materiales ferromagnéticos, el modelo ha sido utilizado en muy diferentes temáticas, por ejemplo en Física de Partículas y en Biología (Neurociencia) [22].

En cuarto lugar vemos que el lector de una obra de ficción se ve naturalmente impulsado a comparar objetos y situaciones de la ficción con la vida real. Estas comparaciones permiten que algunas obras de ficción se conviertan en vehículo de transmisión de conocimientos, ejemplo de este tipo de obras lo son las tragedias griegas y las fábulas. La comparación del modelo de fenómeno, y sus propiedades emergentes, con el sistema-objetivo es una parte esencial del proceso de modelización, que permite comprender aspectos del sistema-objetivo.

Este paralelismo entre modelización y ficción literaria ha sido objeto de atención de varios autores. Los primeros trabajos que tratan de manera directa esta conexión se deben a John Woods [23]. Cartwright se refiere a los modelos en ciencia afirmando que “un modelo es una ficción” y sugerir el análisis de los modelos como si fueran fábulas [24]. Elgin afirma que la ciencia comparte con la ficción artística importantes aspectos en la forma de abordar el acto de conocimiento [25].

Hartmann enfatiza que las historias y narrativas juegan un importante rol en la práctica de la modelización en ciencia [26]. Sugden afirma que los modelos en economía describen “mundos contrafactuales” [27] y McCoskey se refiere a los economistas como “relatores de historias y hacedores de poemas” [28]. Durante los últimos años, importantes contribuciones a la conexión entre la modelización y ficción literaria han sido aportadas por Barberousse y Ludwig [29], por Frigg [30,31] y por Godfrey-Smith [16]. La estructura lógica de los modelos en ciencia y las consecuencias que sobre estas estructuras posee la ficción ha sido tratadas por Bencivenga [32], Lambert [33], Rahman [34,35], Priest [36] y Tullenheimo [37].

4. MODELIZACIÓN Y TEORÍAS DE LA FICCIÓN

Antes de tratar la relación entre modelos y ficciones, es necesario identificar los temas que todo enfoque que trate la problemática de los modelos en ciencia debe analizar. Estos temas son los siguientes:

i) Identidad

Cuando se trata de diferenciar un modelo de otro es necesario establecer un criterio que permita al mismo tiempo identificarlos. Diferenciarlos por su descripción no es correcto, pues un modelo no es su descripción y es usual que un modelo acepte diferentes descripciones. Pero si un modelo no puede identificarse con un enlazamiento de propiedades detalladas en una descripción, cómo podremos identificarlo. Y, en general, qué cosa son los modelos.

ii) La atribución de propiedades

Se considera normalmente que un modelo tiene propiedades físicas. ¿Cómo es esto posible si los modelos no existen en el espacio y el tiempo? ¿Qué sentido poseen declaraciones del tipo: "la función de onda Psi viaja por el espacio", si la función Psi en Mecánica Cuántica no posee existencia física (es una “onda de probabilidad”). De hecho, se ha afirmado que estas declaraciones son contradictorias porque los objetos abstractos no pueden tener las mismas propiedades que los sistemas físicos concretos [38].

iii) Comparaciones

La comparación de un modelo y el sistema-objetivo al que pretende amoldarse es esencial para muchos aspectos de la modelización. Se realizan afirmaciones como "la órbita del electrón es descrita por la función Psi" o “los agentes reales no se comportan como los agentes del modelo”. Del mismo modo realizamos comparaciones entre modelos diciendo, por ejemplo, que los agentes de un modelo son más racionales que los agentes de otro. ¿Cómo es posible comparar cosas inexistentes entre sí o compararlas con entidades concretas del mundo?

iv) La verdad en modelos y sus predicciones

En el discurso científico sobre modelos se habla de lo que es correcto e incorrecto. Pero, sobre qué base nuestras afirmaciones acerca de un modelo son calificadas de verdaderas o falsas. ¿Cuál es la semántica que sostiene afirmaciones que conciernen entidades para las cuales los nombres no encuentran un referente? Y, al mismo tiempo, ¿cómo es posible predecir eventos a partir de representaciones imaginarias de la realidad como son los modelos?

v) Compromisos ontológicos

La ontología de los modelos es un tema controvertido. Por esta razón tenemos que saber qué tipo de compromisos tomamos al elegir una perspectiva de análisis. Y cómo estos compromisos, en cada caso, se pueden justificar.

vi) Epistemología de modelos

La práctica científica basada en la modelización pone el modelo como objeto central del proceso de conocimiento; a través del estudio del modelo, se pretende comprender el sistema-objetivo. ¿Qué particularidades posee este método de investigación que tiene un papel central en la producción de conocimiento? La valoración sobre si un modelo de fenómenos propuesto a partir de bases teóricas es más adecuado para representar un determinado sistema-objetivo que un modelo propuesto a partir de datos sin procesar, es un ejemplo del tipo de cuestión que el análisis del uso de modelos como método de conocimiento debe responder.

4.1 Frigg y la visión de los modelos como simulaciones

Atendiendo a la analogía entre modelos y ficciones, y la posible contribución de perspectivas que se ocupan de la ficción literaria, especial atención merecen los trabajos de Roman Frigg y Godfrey-Smith [16,17,30,31]. La perspectiva de análisis elegida, especialmente en los trabajos de Roman Frigg, es la teoría de Kendall Walton a propósito de las ficciones.

En su libro “Mimesis as Make-Believe: On the Foundations of the Representational Arts”, Kendall Walton propone una nueva perspectiva sobre las ficciones llamada “teoría de la simulación” (make-believe theory) [39]. Se trata de un enfoque no realista, es decir, sin ningún compromiso ontológico más allá de los nombres de personajes ficticios. En su enfoque, Walton centra su análisis en la imaginación y en aquellos actos de la imaginación que se disparan a partir de la presencia de objetos. Walton entiende por objeto cualquier cosa capaz de afectar nuestros sentidos y que pueda servir de base a juegos de simulación. En un juego de simulación “hacemos de cuenta que” tal o cual situación es verdadera. Traducimos “make-believe” como “hacer-de-cuenta-que” aunque también es válida la traducción de Laura Ortega como “hacer-como-que” [40]. En efecto, se inicia un juego de simulación en el momento que se establece una regla que determina, para varios participantes, qué debe ser imaginado en presencia de un determinado objeto elegido para tal fin y que llamaremos “prop”. Dada la especificidad del término prop, (cuya definición está en el texto) no se traduce al castellano. Cualquier objeto puede transformarse en un prop, si es elegido como disparador de la imaginación en un juego de simulación. En un juego de simulación cada participante debe imaginar lo mismo a partir del prop, tenemos entonces que todos los jugadores “hacen de cuenta que” el prop representa un objeto idéntico. Los ejemplos más simples que da Walton son los juegos de los niños. En este caso los props son los objetos con los que juegan los niños y que representan diferentes cosas. Niños que juegan a cazar un oso con armas, participan en un juego de simulación donde, por un lado, “hacen-de-cuenta-que” los paraguas que tomaron del armario son las armas y, por otro, “hacen-de-cuenta-que” la vieja heladera que esta en el garaje es el oso. Tanto los paraguas como la vieja heladera son los props del juego, pues disparan de manera reglamentada, la imaginación. De modo reglamentado quiere decir aquí que todos los niños imaginan lo mismo, según acordaron previamente.

¿Cuál es la relación de los juegos con las ficciones? Puesto que para Walton una ficción es todo aquello que sirve de prop en los juegos de simulación donde “hacemos-de-cuenta-que”, se identifica

al texto de ficción (novela o cuento) como el prop un juego de “hacer de cuenta que”, ya que el texto provoca en el lector, la creación de una representación mental de situaciones. Este acto de creación no es libre, sino que es guiado por las denominadas reglas de generación. Estas reglas son conocidas por todos a priori, i. e. son reglas públicas. El término “representación” en la teoría posee una definición precisa: representación es un prop vinculado con una regla de generación pública. Los props generan verdades dentro del juego de simulación, que deben entenderse como verdades ficcionales. Las verdades ficcionales son clasificadas como directas o indirectas dentro de la teoría, de acuerdo si son derivadas en forma inmediata de la regla de generación o si son derivadas en virtud de reglas de inferencia.

La aplicación de la teoría de la simulación de Walton a modelos propuesta por Frigg, parte de la identificación de un modelo con un prop en un juego de “hacer de cuenta que”, siendo la descripción del modelo una invitación a imaginar una situación dada [30,31]. Lo establecido de manera explícita en la descripción se corresponde con las verdades ficcionales directas, mientras que las conclusiones derivadas utilizando leyes o principios generales y externos al modelo (durante el desarrollo post-creación), se identifican con las verdades ficcionales indirectas.

4.2 Críticas

Las críticas a la perspectiva que identifica los modelos científicos con ficciones se desarrollan principalmente según cuatro líneas argumentales [31]:

a) El problema de la naturaleza de las ficciones es una cuestión difícil y altamente controversial. Plantear la analogía entre modelos y ficción como punto de partida para abordar la naturaleza de los modelos científicos, no sería una estrategia inteligente, ya que la cuestión de la naturaleza de los modelos científicos es lo suficientemente problemática de por sí. Como indica Frigg, este argumento sobrestima la problemática relacionada con las ficciones, muchas cuestiones filosóficas tienen igual o menor grado de problematicidad.

b) Sería altamente nocivo plantear la analogía entre los modelos y la ficción dado el peligroso uso que pueden realizar de este tema grupos anti-científicos, como aquellos que abogan por una visión creacionista o religiosa del origen del universo. Según este argumento, afirmar que el trabajo del científico es manipular ficciones daría fundamento a posturas irracionistas. Giere [41] no da este argumento en contra de la analogía entre modelos y ficciones, sino que alerta sobre los cuidados que deben tomarse al comunicar o difundir el tema. No creemos que el argumento en que se basa esta crítica merezca mucha atención, ya que no nos parece correcto utilizar como criterio valorativo de una teoría, el posible uso erróneo de la misma.

c) Si bien los modelos y la ficción son ontológicamente similares, se distinguen en aspectos de carácter esencial, por lo que sería erróneo identificar los modelos con ficciones. Uno de estos aspectos se refiere al proceso de creación, mientras que la ficción (una novela) es creada por un autor, en la creación de los modelos científicos participa más de una persona. No creemos que la materialidad del proceso de creación cambie, ni el carácter de las ficciones, ni el carácter de los modelos científicos. El hecho de que tal modelo científico fuera mantenido en secreto por su único autor, hasta el momento de su presentación, no cambia su naturaleza. Otro aspecto identifica como característica esencial de la ficción a su falsedad, característica que no sería definitoria de un modelo científico. No compartimos la premisa, la característica definitoria de la ficción no es su

falsedad, sino ser producto (al igual que los modelos) de un acto creativo de la imaginación que tiene por alcanzar o representar una porción del mundo en la cual está interesada la práctica científica.

d) Es posible tratar el problema de los modelos científicos de manera fructífera sin hacer uso de la analogía entre modelos y ficción. Este argumento identifica los modelos científicos con estructuras matemáticas y el carácter representativo de los modelos con la existencia de relaciones basadas en una interpretación matemática del sistema-objetivo. En nuestro punto de vista, la construcción del modelo como un objeto ficticio es un acto previo a la descripción del modelo (ya creado), y que en algunos casos (no en todos) se realiza mediante estructuras matemáticas (ecuaciones). Estas ecuaciones son verdaderas en el objeto de ficción, i.e. en el modelo.

4.3 Modelos, ficciones y la Teoría Artefactual

De manera alternativa a la teoría de la simulación de Walton, es posible desarrollar otra visión de modelos como ficciones a partir de la Teoría Artefactual de Amie Thomasson, tal y como ha sido desplegada en la perspectiva del pragmatismo dialógico [10, 42]. Este enfoque, originalmente desarrollado para ficciones en literatura, permitiría abordar de forma fructífera las importantes cuestiones enumeradas en los puntos i a iv.

El enfoque de Thomasson se desarrolló en la búsqueda de soluciones para dos de los mayores inconvenientes con los cuales debe confrontarse toda teoría de la ficción: la cuestión de la identidad de los personajes (en la misma obra y a través de una serie de volúmenes) y el obstáculo difícil de la referencia de los nombres mediante los cuales mencionamos los personajes.

Thomasson ubica en el centro de su perspectiva la noción de dependencia ontológica. Esto le permite establecer una nueva noción de obra literaria y de personajes ficticios, asimilándolos a entidades abstractas, creadas y dependientes. En efecto, son entidades abstractas en tanto son el resultado de la actividad productiva de la imaginación y se encuentran fuera del marco espacio-temporal, aunque mantienen relaciones con las entidades existentes a través de las relaciones de dependencia.

La dependencia que mantienen estas entidades es doble: una dependencia histórica y otra constante. La dependencia histórica la mantienen con el autor. Se trata de una dependencia rígida y permite concebir las ficciones como creaciones. Es decir, las ficciones son creadas mediante un acto de imaginación y por un individuo con el cual queda establecida una relación de dependencia definitiva.

Decimos entonces que una entidad X depende históricamente de otra Y si para todo instante t, hubo un momento donde sólo una de ellas existía y luego del cual coexisten pero no en todos los mundos. Antes de la creación de la obra y luego de la muerte del autor, ambas entidades (autor y obra) no coexisten en ningún mundo. La diferencia con la dependencia constante es que para esta dependencia se exige que ambos coexistan en todos los mundos y para todos los instantes de tiempo

t. Las nociones de dependencia de Thomasson presuponen una semántica bidimensional (espacio y tiempo) para una lógica de la ficción [42].

Sobre la base de estas relaciones de dependencia, según Thomasson, las entidades se dividen en dependientes e independientes. Las ficciones ocuparían el lugar de las dependientes en tanto luego de su creación dependen histórica y constantemente de otras entidades en el espacio y el tiempo. En suma decimos entonces que una ficción para Thomasson es un artefacto abstracto, es decir una entidad abstracta, creada y dependiente.

Para describir las ventajas que tiene la teoría de Thomasson para analizar los modelos científicos en tanto ficciones, es útil describir los problemas que a nuestro entender posee la propuesta por Frigg y que pueden ser superados utilizando la Teoría Artefactual.

Frigg nos dice que un modelo es presentado por medio de una descripción, y que esa descripción debe ser entendida como un prop en un juego de simulaciones. Esto funciona bien cuando en un cuento se trata de la descripción de una nave espacial con la misma forma y tamaño que la Luna, o cuando los niños juegan y simulan que los trozos de madera que tienen en las manos son armas que lanzan rayos láser. En ambos casos “simulan” que son reales. Pero, por ejemplo, al leer la descripción que Copérnico da del Sistema Solar, ¿qué es lo que debemos simular? Se trata de esferas que giran en órbitas circulares en torno a otra esfera ubicada en el centro. Se da explicación con este modelo a una gran cantidad de interrogantes. Pero lo que nos representamos por esta vía es el modelo mismo y no lo tomamos por real. Desde luego, al representarnos el modelo apreciamos que es amoldable a una porción de la realidad, así como al leer en ficción literaria sobre Sherlock Holmes, nos representamos al sagaz detective (no una cosa real) y pensamos que podría amoldarse o corresponder a la descripción de un detective real.

Si bien Frigg acepta que los modelos no pueden ser reducidos a descripciones, resulta difícil saber cómo independizarse de ellas si no corresponden a ningún tipo de contenido u objeto que permita individualizarlas más allá de las palabras que componen la descripción. Si su perspectiva no posee ningún tipo de compromiso ontológico, la diferencia entre dos variables de la descripción de un mismo modelo corresponderían a diferentes modelos. Creemos que esto además de contraintuitivo no se ajusta bien con la práctica científica donde los investigadores hablan a menudo de los modelos como si fueran objetos.

Frigg afirma que no es un requisito que los modelos, en tanto representaciones provocadas por props en juegos de simulación, se amolden a algo real. En relación con este punto, la perspectiva de Frigg no abarca todos los modelos científicos. En efecto, muchas veces los modelos son intentos de explicar algo que no se conoce. Al leer la descripción de estos modelos no podemos hacer de cuenta que son tal o cual cosa pues no lo sabemos. Trabajamos sobre un modelo, por ejemplo, pues la realidad que deseamos conocer es inaccesible. Pero en un juego de "hacer de cuenta que", debe estar muy claro qué es lo que se representa por medio del prop, incluso si se trata de algo inexistente, como un arma láser portátil en un juego de niños.

En un juego de simulación, lo representado a partir del prop es representado como real. Por el contrario, nadie pretende que el modelo sea real. Se trata de una entidad ficcional, no existente, con

la cual se trabaja en función de poder alcanzar ciertos propósitos respecto del sistema-objetivo. Aquel sistema-objetivo al cual, decimos, el modelo quiere amoldarse. Al leer en una historia de ficción, por ejemplo, que el personaje conduce un auto y muere al desbarrancarse por un acantilado, nos representamos lo sucedido y lamentamos terriblemente su muerte pues estamos siendo parte de un juego de simulación al leer esta historia. Como el niño que hace de cuenta que ese palito en su mano es un arma, hacemos de cuenta que el auto que conduce el protagonista es un auto que realmente se ha desbarrancado por un acantilado en el norte de Francia, según cuenta la historia. En ambos casos, el niño y el lector de esta historia, hacen de cuenta que lo representado es real. Tan real que incluso nos ponemos a llorar por la muerte del personaje. Pero al representarnos lo indicado en la descripción de un modelo, por ejemplo uno con recortes galileanos o supresiones aristotélicas, difícilmente podamos hacer de cuenta que aquello es real. De hecho, no creemos que los físicos consideren válido participar en un juego donde se “hace de cuenta que” (es real que) un grupo de esferas perfectas y sin masas son algo real. Por el contrario, creemos, preferirán quedarse bien conscientes de que no es un objeto real, pero que se amoldan bien al sistema-objetivo.

Por último, observemos que si la función del prop es la de disparar la imaginación, el modelo como prop pierde peso dentro de la práctica científica. Se podría proponer representarse lo mismo por otros medios materiales, así como los niños cambian de palito (prop) pero siempre se representan la misma arma para cazar osos. No parece que los modelos sean simples vehículos para representarse otra cosa en un juego con reglas acordadas. El científico se detiene en el modelo mismo para trabajar. La mayor parte de su tarea científica consiste en modificar, probar y hacer verificaciones sobre el modelo. Desde luego que no pierde de vista que se trata por este medio de dar cuenta de una porción de la realidad en la cual se interesa.

5. CONCLUSIONES

A modo de conclusión nos gustaría enumerar algunas de las ventajas de interpretar modelos desde la Teoría Artefactual de Thomasson. Creemos que el trabajo de base realizado desde el enfoque de Walton es fructífero y valioso pero insuficiente. Por tratarse de un enfoque no realista creemos que produce ciertas tensiones al momento de dar condiciones de identidad y referencia para representaciones que no considera más allá de la facultad imaginativa de los participantes de un juego de simulaciones.

La Teoría Artefactual permite trabajar con modelos con la misma libertad con la cual el literato trabaja con su creación literaria. Como un objeto que se describe pero que no se reduce a estas descripciones. Uno de los puntos más interesantes de esta visión para modelos es que puede manipularse el objeto como si fuera un objeto con características a descubrir. Esto último se enmarca bien en la práctica científica donde los modelos son tratados como objetos que superan la mera descripción inicial. En este sentido es que es posible pensar en simulaciones, es decir, en entidades que se estudian experimentalmente en el tiempo como si fuera un estudio de objetos reales sobre el banco de experimentos del científico. Asimismo cabe notar que en la teoría artefactual no se descartan las descripciones sino que adquieren sentido en el marco de relaciones de dependencia que caracterizan a las ficciones en tanto que artefactos.

Por último remarcamos que la teoría artefactual permite elaborar una semántica formal que puede dar cuenta de la verdad en un modelo. En este sentido ya se ha desarrollado una lógica libre y dinámica [41] que sigue las consignas fundamentales de la teoría artefactual de Thomasson. Esta lógica fue desarrollada en el marco conceptual dialógico (Rahman [34]) y por su dimensión pragmática es el mejor contexto para capturar la idea de modelos como entidades creadas y dependientes.

Agradecimientos

En especial Juan Redmond agradece por las acaloradas discusiones y las fructíferas observaciones a Olga Pombo, Hassan Tahiri, Shahid Rahman y al Centro de Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Lisboa al cual pertenece.

Referencias

- [1] Duhem P. *La Théorie Physique, son Objet et sa Structure*. 2nd ed., París 1914.
- [2] Carnap R. *Foundations of Logic and Mathematics*, in Otto Neurath, Charles Morris and Rudolph Carnap (eds.), *International Encyclopaedia of Unified Science*. Vol. 1: 139-213, University of Chicago Press, Chicago, 1938.
- [3] Hempel C. G. *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. Free Press, New York, 1965.
- [4] Campbell N. *Physics: The Elements*. Cambridge University Press, Cambridge, 1957.
- [5] Hesse M. *Models and Analogies in Science*. Sheed and Ward, Londres, 1963.
- [6] Suppe, Frederick, ed. *The Structure of Scientific Theories*. University of Illinois Press, Urbana, 1977.
- [7] Morgan M. y Morrison M. eds. *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [8] Dieguez, A. *Filosofía de la ciencia*. Biblioteca Nueva (2ª edición), Madrid, 2010.
- [9] Suppe F. *Understanding Scientific Theories: An Assessment of Developments, 1969-1998*. *Philosophy of Science*, 67 (proceedings) :102-115, 2000.
- [10] Thomasson, A. L. *Fiction and Metaphysics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [11] van Fraassen, B. C. *Structure and perspective: Philosophical perplexity and paradox*. In M. L. D. Chiara (Ed.), *Logic and scientific methods*. pp. 511–530. Kluwer, Dordrecht, 1997.
- [12] Bogen, J. y Woodward, J. *Saving the phenomena*. *Philosophical Review*, 97:303–352, 1988.
- [13] Suppes P. *Models of Data*, en Nagel E., Suppes P. and Tarski A. (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress*. Stanford University Press, Stanford, pp. 252-261. Reimpreso en Patrick Suppes: *Studies in the Methodology and Foundations of Science*. Selected Papers from 1951 to 1969, pp. 24-35. Reidel, Dordrecht 1969.
- [14] Suppes P. *A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences*, *Synthese* 12: 287-301, 1960. Reimpreso en Patrick Suppes: *Studies in the Methodology and Foundations of Science*. Selected Papers from 1951 to 1969, pp. 10-23. Reidel, Dordrecht 1969.

- [15] van Fraassen, B. C. *The Scientific Image*. Oxford University Press, Oxford, 1980.
- [16] Godfrey-Smith, P. The strategy of model-based science. *Biology and Philosophy*, 21:725–740, 2006.
- [17] Frigg R. Models in Science. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalta (ed.), The Metaphysics Research Lab, Stanford University, Stanford, 2006. URL = <<http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>>
- [18] Una presentación didáctica de los modelos nucleares puede encontrarse en el libro *Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*, Eisberg R. y Resnick R, Limusa, México, cap. 15.
- [19] Hesse, M. *Models and Analogies in Science*. Sheed and Ward, Londres, 1963.
- [20] McMullin, E. What Do Physical Models Tell Us?, en van Rootselaar B. y Staal J. F. (eds.), *Logic, Methodology and Science III*, pp. 385-396. North Holland, Amsterdam, 1968.
- [21] Verne, J. *La esfinge de los hielos*. Planeta, 1987.
- [22] Baxter R. J. *Exactly solved models in statistical mechanics*, Acad. Press, 1982.
- [23] Woods, J. *The Logic of Fiction. A Philosophical Sounding of Deviant Logic*. Mouton, La Haya (Holanda), 1974.
- [24] Cartwright, N. *How the laws of physics lie*. Oxford: Oxford University Press, 1983.
- [25] Elgin, C. Z. *Considerate judgement*. Princeton University Press, Princeton, 1996.
- [26] Hartmann, S. Models and stories in hadron physics. En Morgan M. y Morrison M. (eds.), *Models as mediators. Perspectives on natural and social science*, pp. 326–346. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [27] Sugden, R. Credible worlds: The status of theoretical models in economics. *Journal of Economic Methodology*, 7(1): 1–31, 2000.
- [28] McCloskey, D. N. Storytelling in economics. En Nash C. (ed.), *Narrative in culture. The uses of Storytelling in the sciences, philosophy, and literature*, pp. 5–22, Routledge, London, 1990.
- [29] Barberousse A. y Ludwig P. Les modèles comme fictions, *Philosophie* 68 (2000).
- [30] Frigg, R. Models and fiction. *Synthese*, 172 : 251-268 (2010).
- [31] Frigg, R. Fiction in science. En Woods J. (ed.), *Fictions and Models: New Essays*. Philosophia, pp. 247-287, Verlag, Munich, 2010.
- [32] Bencivenga, E. Free Logics in *Handbook of Philosophical Logic*, vol. 3 (pp. 373-427), D. Gabbay & F. Guenther (Eds.), Reidel, Dordrecht, 1986..
- [34] Rahman, S. On Frege's Nightmare. A Combination of Intuitionistic, Free and Paraconsistent Logics". En Wansing H. (ed.), *Essays on Non-Classical Logic*, pp. 61–85, World Scientific, River Edge, New Jersey, 2001.
- [35] Rahman, S. Idealization as Prescriptions and the Role of Fiction in Science: Towards a Formal Semantics. En *Poincaré's Philosophy of Mathematics*, pag. 99-144. *Cadernos de Filosofia das Ciências*, Lisboa, 2011.
- [36] Priest, G. *Towards Non-Being. The logic and Metaphysics of Intentionality*. Clarendon Press, Oxford, 2005.

- [37] Tulenheimo, T. Remarks on Individuals in Modal Contexts. En *Revue Internationale de Philosophie* 63 (250):383-394, 2009..
- [38] Hughes, R. I. G.. Models and representation. *Philosophy of Science (Proceedings)*, 64:325–336, 1997.
- [39] Walton, K. *Mimesis as Make-Believe. On the Foundations of the Representational Arts.* Harvard University Press, Cambridge (MA), 1990.
- [40] Frigg, R. Los Modelos y la Ficción (versión española). En Lorenzano P. (ed.), *Modelos y Teorías en Biología*, Prometeo, Buenos Aires . El mismo trabajo puede ser consultado en la traducción de Ortega L. en <http://www.romanfrigg.org/writings/modelos_y_ficcion.pdf>
- [41] Giere, R. Why Scientific Models should no be regarded as works of fiction. En Suárez M. (ed.), *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealization*, pp. 248-258, Routledge, Londres, 2009.
- [42] Redmond, Juan, 2010. *Logique dynamique de la fiction: pour une approche dialogique.* Col. Cahiers de logique et Epistémologie, D. Gabbay & Sh. Rahman Eds., College Publications, London.