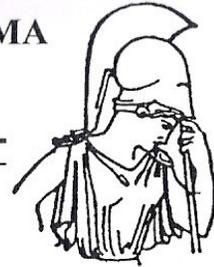




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**



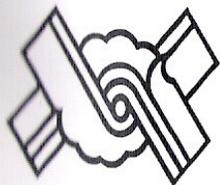
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

"MODELACIÓN Y FORMULACIÓN DE LA MECÁNICA  
CLÁSICA EN LOS LIBROS DE TEXTO".

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**  
P R E S E N T A :  
**OCTAVIO JAVIER CAMPUZANO CARDONA**

DIRECTOR: DR. SERGIO F. MARTÍNEZ MUÑOZ



OCTUBRE 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Para Nelly, compañera de esta travesía

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Sergio Martínez su conducción para llevar a cabo esta empresa, sus comentarios profundos y agudos me permitieron ubicar, delimitar y desarrollar un tema de mi interés.

Los doctores Alfonso Arroyo, Xavier de Donato, Eduardo González de Luna y José Luis Rolleri, lectores del trabajo, me hicieron comentarios y sugerencias invaluable acerca del planteamiento general, las implicaciones de los enfoques y posturas iniciales, la pertinencia y relevancia de los argumentos, el estilo y la redacción del escrito. Mi reconocimiento sincero a todos ellos.

Quiero reconocer también a mis profesores del posgrado, particularmente a Rasmus Winther, Sergio Martínez, Álvaro Peláez, Alfonso Arroyo y Xavier de Donato, quienes con su ejemplo dentro y fuera del aula me han motivado a seguir crítica y apasionadamente el camino de la filosofía de la ciencia.

Asimismo, no puedo dejar de lado mi agradecimiento a Natalia Luna, Noemí Vidal y Elizabeth Barajas, quienes resolvieron rápida y eficazmente todos los asuntos relacionados con la cuestión administrativa del posgrado, desde las inscripciones de cada semestre hasta los trámites de la titulación.

Mi gratitud a mi madre, Ana María Cardona.

A mi familia, por su respaldo permanente, siempre solidaria y comprometida: Gerardo, Claudia, Lalo, Alfonso, Edgardo; César, Antonio, Edith, Matilde; Augusto, Sandra, Marcela, Delia, Paty; Reynaldo, Elba; Rosalina, Octavio.

A mis amigos y compañeros, por su afecto, apoyo incondicional y el estímulo intelectual con el que me han inspirado en diferentes momentos: Agustín, Luis, Eliel, Olga, Atahualpa, Lara; Verónica, Daniel, Emiliano, Corine, María José, Ernesto, Rodrigo, Carlos; David Gaytán, Alicia Pazos, Paty Murillo; Alejandro, Ana, Angélica, Chey, Laura; Adrián, Ana Laura, Antonio, Arturo, David, Engracia, Ernesto, Fabiola, Jacobo, Karen, Mauricio, Pavel, Renato.

A los compañeros de la Academia de Cultura Científica y Humanística de la UACM, por compartir conmigo sus conocimientos y pasiones intelectuales en múltiples reuniones y encuentros en el Campus.

A los inquilinos del cubículo “Salvador Allende” de San Lorenzo Tezonco, siempre críticos, comprometidos y solidarios.

Nuevamente a Nelly, Alfonso y Emiliano, por su revisión final del texto.

A Cordelia, Negrito, Justina y Santino por su permanente compañía (sobre todo nocturna) mientras elaboraba este escrito.

Finalmente, esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo del CONACYT y la UACM durante mi paso por el posgrado.

## Índice

Introducción .....	1
I. ¿Modelos para armar? .....	11
II. Todo problema resuelto es trivial.....	33
Conclusiones .....	49
Bibliografía .....	51

## Introducción

Filósofos e historiadores de la ciencia han discutido ampliamente sobre la conformación y el cambio en la ciencia y, como parte de las deliberaciones, se han preguntado *dónde* se lleva a cabo la actividad científica. Se ha afirmado que el conocimiento científico *está* en artículos científicos (*papers*), reportes de laboratorio, en las interacciones al interior del laboratorio, en la relación de los científicos con las instituciones, en la imaginación y la reflexión de los hombres, etc. Pero sin lugar a dudas donde sería difícil negar que reside buena parte del conocimiento científico es en los libros científicos, y en particular en los libros de texto. Esto no siempre ha sido así, la aparición de los libros de texto es bastante reciente, apenas de finales del siglo antepasado, mientras que los libros o tratados científicos básicamente aparecen con los griegos. La relevancia de unos y otros, tratados y libros de texto científicos, en el pensamiento científico contemporáneo se puede ilustrar someramente mostrando algunos momentos históricos, además de algunas reflexiones acerca de su constitución e importancia.

El redescubrimiento y la traducción de la Física de Aristóteles en el siglo XII generó una amplia revisión de la cosmovisión medieval que a la postre llevó a nuevas formas de conocimiento e incluso, paradójicamente, al rechazo de la concepción aristotélica. A partir del siglo XIX, en el contexto de la institucionalización de la enseñanza de la física en Inglaterra, surgen los libros de texto, y desde entonces van adquiriendo una importancia creciente, hasta llegar a ser una parte muy importante de los libros científicos.<sup>1</sup> En la segunda mitad del siglo XX algunos filósofos comienzan a reflexionar sobre su papel en la ciencia.

Thomas Kuhn, señala con claridad el papel de los libros de texto,

Ciencia normal significa la investigación basada firmemente en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica anterior. Hoy en día tales logros se recogen en los libros de texto científicos, tanto elementales como avanzados, aunque rara vez en su forma original. Dichos libros de texto exponen el cuerpo de la teoría aceptada, ilustran muchas o todas sus aplicaciones afortunadas y confrontan tales aplicaciones con ejemplos de observaciones y experimentos.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Warwick (2003) realiza un estudio muy detallado y original en el cual relaciona la institucionalización de la enseñanza de la física con el aprendizaje de los científicos durante el siglo XIX.

<sup>2</sup> Kuhn 2004, p. 37.

Luego, Kuhn considera los libros de texto científicos como los principales “guardianes” del conocimiento científico aceptado. Hay en ellos una narración coherente, sistemática y lineal (en sentido temporal) de hechos y explicaciones. No sólo eso, para él, los libros también permiten a los científicos seguir las mismas reglas y normas en la práctica científica; de acuerdo a su modelo de cambio científico, los libros de texto son la expresión clara del hecho que se comparte un paradigma.

Por su parte, Paul K. Feyerabend caracterizaba los libros de texto como parte de un proceso de “congelamiento del proceso histórico” que distingue la actividad científica madura:

La educación científica...simplifica la ‘ciencia’ simplificando a sus participantes: en primer lugar se define un dominio de investigación. A continuación, el dominio se separa del resto de la historia (la física, por ejemplo, se separa de la metafísica y de la teología) y recibe una ‘lógica’ propia. Después, un entrenamiento completo en esa lógica condicionada a quienes trabajan en dicho dominio. Con ello se consigue que sus acciones sean más uniformes y al mismo tiempo se congelan grandes partes del *proceso histórico*. ‘Hechos’ estables surgen y se mantienen a pesar de las vicisitudes de la historia.<sup>3</sup>

Con base en el tipo de ‘hechos’ descritos por Feyerabend, se van generando en parte las teorías (o modelos) que componen los libros de texto científicos; en ellos se dejan de lado los intereses originales de los iniciadores de las grandes teorías (o de los autores de los grandes proyectos disciplinarios). Por ejemplo, Newton con *Los principia*, entre otras cosas, está tratando de caracterizar matemáticamente los fenómenos gravitacionales sin considerar sus causas,<sup>4</sup> lo que va en contra de la tradición mecanicista iniciada por Boyle y Descartes.<sup>5</sup> Está involucrado en una discusión acerca de los principios de la disciplina. Los libros de texto vienen luego, retoman algunas partes de ese tratado (*Los principia*), las simplifican, reformulan los problemas ahí abordados, ignoran preocupaciones metafísicas y teológicas de Newton y se centran en la caracterización de cierto tipo de herramientas para resolver problemas, el tipo de enfoque que cultivan los libros de texto científicos.<sup>6</sup>

---

<sup>3</sup> Feyerabend 1989, pp. 3-4.

<sup>4</sup> “No he podido todavía deducir a partir de los fenómenos de la razón de estas propiedades de la gravedad y yo no imagino hipótesis”. Citado por Shapin (1988, p. 88).

<sup>5</sup> Shapin afirma que desde el mismo siglo XVII hasta la fecha sigue la discusión acerca de si Newton continuó o no la tradición mecanicista. (*Ibid.* 1988, p. 89).

<sup>6</sup> *Cfr.* Warwick 2003, pp. 14-18.

Los libros de texto científicos pueden variar en estructura y contenido de una generación a otra, y algunos de ellos pueden influir de manera determinante en la forma de aprender, representar e investigar acerca de la ciencia dentro de una comunidad. Además, los libros se escriben con diferentes estilos que responden a tradiciones regionales. En el caso de los libros de mecánica, no obstante la enorme diversidad de enfoques para abordar el tema, es posible encontrar patrones característicos que tienen lecciones interesantes para entender la manera como se plantea y se aprende la mecánica clásica.

Aparentemente, leyes, principios y problemas encontrados en la mayoría de los libros y manuales de mecánica se integran en un orden en el cual se presentan primero teorías elementales y posteriormente se edifican otras más complejas a partir de las primeras. En cada capítulo se expone la teoría, se resuelven ejemplares y al final se plantean al lector preguntas y problemas. Los capítulos previos sirven de base para la exposición de los posteriores. En algunos casos, al comienzo se expone la matemática necesaria para abordar los temas del libro, mientras en otros la matemática se presenta conforme se va requiriendo en la elaboración de una teoría.

Ahora bien, ¿qué relación tiene esta estructura con el contenido mismo de los libros de texto? Para responder esta pregunta, primero es necesario buscar en qué consiste tal estructura. En buena medida la estructura da cuenta de la manera en que se pretende la explicación de la mecánica en sus textos más difundidos, y debería ser importante para la filosofía de la ciencia cuál es la manera en la que esas explicaciones se estructuran.

Una posibilidad es que los autores plantearan la explicación en los textos del modo que eran descritos por los filósofos de la ciencia de corte lógico-empirista. Estos autores pretenderían reproducir un modelo de explicación idéntico al propuesto por Hempel y Nagel. Recuérdese que para éstos, la explicación en ciencia se pretende por medio de la cobertura legal inferencial, la idea básica es que las explicaciones son argumentos en los que el *explanandum* se infiere del *explanans*. En palabras de Hempel:

“Se responde la cuestión ¿Por qué ocurre el evento del explanandum? mostrando que el evento resultó de circunstancias particulares especificadas en  $C_1, C_2, \dots, C_k$  en concordancia con las leyes  $L_1, L_2, \dots, L_r$ ”.<sup>7</sup>

El diagrama característico de este tipo de explicación es el siguiente,

$$\frac{C_1, C_2, \dots, C_k}{\frac{L_1, L_2, \dots, L_r}{E}}$$

Sin embargo, este modelo, también llamado sintáctico, es insostenible en general y en particular para aplicarlo en los libros de texto. En general porque hay críticas bien conocidas a este modelo nomológico-deductivo. Por ejemplo, las que se refieren a la irrelevancia, la asimetría y al hecho de que los científicos no siguen este modelo de explicación. La irrelevancia se refiere a que mientras por un lado la explicación es suficiente para la teoría, por otro la teoría no es necesaria para la explicación. La asimetría se refiere a la inexistencia de simetría entre explicación y predicción;<sup>8</sup> hay explicaciones que no predicen (p. ej. La teoría de la evolución) y hay predicciones que no explican (p. ej. si se conoce la sombra proyectada por un mástil, se puede predecir la altura de éste, pero ello no explica por qué el mástil tiene esa altura).<sup>9</sup> Por último, esta forma de explicación no da cuenta de las prácticas científicas reales, como lo han argumentado entre otros, Kuhn<sup>10</sup> y Feyerabend.<sup>11</sup> En los libros de mecánica, salvo excepciones, no hay nada semejante a una estructura nomológica-deductiva para explicar los resultados de la física; en cada capítulo no se exponen una serie de leyes (jugando el papel de axiomas), a partir de las cuales se emprenda la resolución de problemas particulares aplicándolos, por medio de la introducción de leyes puente, a los datos empíricos señalados o inferidos de la redacción del problema.

Lo anterior no sólo se sigue de una revisión empírica de los libros de mecánica, incluso algunos autores señalan la imposibilidad de partir de leyes o principios plenamente comprensibles y utilizarlos luego para resolver problemas, sugieren incluso un camino inverso, esto es, a partir de emplear

---

<sup>7</sup> Hempel 1962, p. 686.

<sup>8</sup> Cfr: Ruben 1991, pp. 720 – 727 y Van Fraassen, 1991, p. 269.

<sup>9</sup> Cfr: Van Fraassen 1980, pp. 165-167.

<sup>10</sup> Kuhn 2004.

<sup>11</sup> Feyerabend 1989.

repetidamente conceptos físicos, se puede alcanzar la comprensión de su significado. Por ejemplo,

Keith R. Symon en su libro *Mecánica* escribió:

[...] momento lineal = masa x velocidad es una definición perfectamente clara de “momento lineal” en el supuesto de que se hayan definido con precisión la “masa” y la “velocidad”. Pero este tipo de definición no valdrá para todos los términos de una teoría, pues hemos de partir de un conjunto de conceptos básicos o “primitivos” cuyos significados se suponen conocidos. Los primeros conceptos a introducir en una teoría no pueden definirse del modo anterior, pues no tenemos nada que poner en el segundo miembro de la ecuación. El significado de estos conceptos primitivos habrá de aclararse por algunos medios que no tengan nada que ver con las teorías físicas que se trata de edificar. Así, p. ej., podríamos simplemente utilizar tales conceptos una y otra vez hasta que sus significados quedasen claros.<sup>12</sup>

Mas todavía, Ronald Giere<sup>13</sup> señala que en los libros no se utilizan reglas de correspondencia, dado que estas últimas son irrelevantes, pues en los textos no hay distinción entre enunciados que describen hechos particulares y leyes propiamente dichas. Además, resalta que las reglas de correspondencia son una vía muy pobre para explicar la introducción de la matemática en la ciencia para representar el mundo real.

Las leyes o principios presentes en los libros no son generalizaciones empíricas bien confirmadas<sup>14</sup> sino postulados elaborados a partir de idealizaciones, abstracciones y aproximaciones. Giere ilustra este punto con un ejemplo muy conocido: el reloj de su abuelo.<sup>15</sup> Afirma que si la ley del péndulo se quisiera entender como un enunciado universal y verdadero acerca de todos los péndulos, habría un problema porque de hecho esa ley sólo la cumple un péndulo al cual se le han introducido abstracciones, idealizaciones y aproximaciones.<sup>16</sup> Por ejemplo, el reloj de su abuelo realiza oscilaciones

---

<sup>12</sup> Symon 1974, p. 4.

<sup>13</sup> Cfr. Giere 1988, p. 75.

<sup>14</sup> Prácticamente todos los libros mencionan que las fuerzas que se proponen para la segunda ley de Newton provienen de generalizaciones empíricas.

<sup>15</sup> *Ibid.*, p. 76.

<sup>16</sup> 1) aproximación para ángulos pequeños.

2) incluso antes de la aproximación, aproxima la fuerza gravitacional como uniforme.

a) Si la tierra fuera homogénea, la fuerza sería uniforme, no lo es y las heterogeneidades se conocen tan sólo de manera aproximada.

b) Hay atracción gravitacional de otros cuerpos: El sol, la luna y los demás planetas.

3) La gravitacional no es la única fuerza que actúa sobre el péndulo, a) la fricción que existe en la unión del péndulo con el cajón del reloj; b) la resistencia del aire sobre la lenteja del péndulo. Además, se aproxima esta fricción como dependiente de la velocidad o de forma más compleja, pero ninguna función es exactamente correcta.

4) No oscila libremente, hay un mecanismo que le proporciona un empuje en cada oscilación.

con ángulos relativamente grandes, la fricción entre la varilla del péndulo y el tornillo que la sujeta se compensan con un mecanismo que le proporciona empuje en cada oscilación, etc., esto dista mucho de ser un péndulo ideal.

Así pues, no es posible sostener el enfoque sintáctico para explicar la estructura de los libros de texto, tampoco da cuenta de cómo aprenden y utilizan los científicos la mecánica clásica en esos libros. Esta situación ha llevado a varios autores a reflexionar sobre cuáles son las estructuras de las explicaciones efectivamente utilizadas (aunque muchas no de forma explícita) en los libros de texto. Uno de estos autores es Ronald Giere, quien hace ya algunos años propuso estudiar los textos por medio de modelos.<sup>17</sup>

El interés original de Giere en su texto de 1988 fue dar cuenta de las explicaciones en ciencia y para desarrollar su planteamiento tomó como premisa que los libros expresan en buena medida la forma de trabajar de los científicos. Plantea su argumento de la siguiente manera: Los científicos estudian en los libros, los libros están estructurados a partir de modelos, por lo tanto los científicos estudian los fenómenos, más que con teorías y leyes, por medio de modelos. Luego, cada disciplina, incluso cada problema abordado por un grupo de científicos, maneja principios generales (y no leyes) a partir de los cuales modela un problema *real*.

Ronald Giere entiende los modelos de dos maneras diferentes. Por un lado, como sistemas idealizados igual a los expuestos en los textos de mecánica (los llama modelos teóricos o simplemente modelos cuando el contexto es claro). Esto es, los concibe en el mismo sentido que los lógicos entienden los modelos: como aquellas interpretaciones que satisfacen un conjunto de axiomas. Giere ejemplifica esta primera idea de modelo, indicando que el oscilador armónico simple satisface su ecuación de movimiento. Por otro lado, concibe a los modelos como entidades no-lingüísticas, conjuntos de objetos, no de enunciados ni de ecuaciones, que pueden ser caracterizados de muy diversas maneras, empleando muy disímiles lenguajes.

---

<sup>17</sup> Giere 1988.

Ahora bien, como mostraré en este trabajo, el enfoque empleado por Ronald Giere para abordar el estudio de los libros de texto científicos (como constituidos por modelos), conlleva una serie de dificultades desde su planteamiento mismo, que le impiden vislumbrar en los libros de texto una serie de características y virtudes indispensables para apreciar mejor su composición y su papel en la actividad científica.

Una de las razones básicas de las limitaciones del análisis de Giere para resolver las dificultades anteriores, es su idea de modelo. Los problemas que enfrenta este son, entre otras, la poca importancia que confiere a las idealizaciones, abstracciones y otros elementos en la formulación de los modelos; además, en el enfoque cognitivo asumido en su idea de modelos, el establecimiento de relaciones entre modelos y familias de modelos a partir de afinidades entre ejemplares rígidos poco que ver con el trabajo realizado por los científicos y sus interacciones con los modelos de los libros. Ante las limitaciones del proyecto de Giere, se requiere de una reformulación de la idea de modelo, para explicar la diversidad y el cambio en los libros, la manera en que los físicos emplean y se forman estudiando en los libros, y dé cuenta del hecho de que la actividad de los físicos (incluidos estudiantes y profesores) induce cambios en los textos, en sus enfoques, estructuras y contenidos.

Por lo anterior, propongo una idea de modelo como entidad incompleta, producto de idealizaciones, abstracciones, simulaciones, etc. abiertas a las interpretaciones de los lectores y que permiten, además de resolver, plantear nuevos problemas teóricos y prácticos (incluidas idealizaciones, abstracciones y aproximaciones) estrechamente relacionados con los intereses pragmáticos de los autores de los textos, y de maneras específicas, vinculados con las investigaciones de los científicos o las aplicaciones prácticas.

En mi planteamiento, los modelos propuestos en los libros se eligen según el nivel y los fines de cada texto en particular; se basan en principios teóricos generales<sup>18</sup> expuestos en otros libros o en artículos científicos (*papers*). Los modelos ahí expuestos constituyen la teoría con la cual se trabaja en

---

<sup>18</sup> Por ejemplo, la Ley de la gravitación universal de Newton.

los libros. No obstante, hay cierta autonomía entre la teoría y los modelos, pues sólo de esta manera es posible emplearlos para modelar sistemas físicos con diversos propósitos. Un modelo que sólo expresara la teoría resultaría inútil para abordar nuevos problemas o un problema con enfoques alternativos. De la misma manera, un modelo que sólo resolviera el problema para el cual se elaboró, resultaría inoperante para enfrentarse nuevos problemas.

Para ver esto con mayor detalle, considérese que los primeros sistemas modelados por los estudiantes de física son los ejercicios propuestos al final de los capítulos, en ellos se pide al estudiante emplear la teoría vista en el capítulo para resolver cierto problema, pero para llegar a la solución el alumno debe introducir en su modelo una serie de idealizaciones, abstracciones y aproximaciones no contempladas ni en la teoría ni en los ejemplos del capítulo; el modelo con el cual se resuelve el problema requiere de información y preparación externas.

Mi propuesta sobre los libros de texto la sustento en enfoques más actuales acerca de los modelos e idealizaciones en la ciencia. Respecto a las diferentes perspectivas de modelos, autores como Cartwright<sup>19</sup>, Suárez<sup>20</sup>, Boumans<sup>21</sup> y otros, han ampliado o cambiado la idea de modelos en los últimos años, pero una de las perspectivas más destacadas en la literatura reciente es la planteada por Morrison y Morgan<sup>22</sup>, quienes consideran los modelos como instrumentos de mediación y como agentes autónomos.

En lo que a las idealizaciones se refiere, hace tiempo hay discusiones muy intensas sobre el papel que estas juegan en la ciencia, Laymon<sup>23</sup>, Cartwright<sup>24</sup> y McMullin<sup>25</sup> son algunos de los ponentes más reconocidos alrededor del tema, y más recientemente autores como Morrison<sup>26</sup>, Weisberg<sup>27</sup> y

---

<sup>19</sup> Cartwright 1983 y 1989.

<sup>20</sup> Suárez 1999.

<sup>21</sup> Boumans 1999.

<sup>22</sup> Morrison y Morgan 1999.

<sup>23</sup> Laymon 1980 y 1982.

<sup>24</sup> *Id.*

<sup>25</sup> McMullin 1985.

<sup>26</sup> Morrison 2005.

<sup>27</sup> Weisberg 2007.

Arroyo y Donato<sup>28</sup> han descrito diferentes tipos de idealizaciones en la construcción de modelos y algunos han lanzado sus propias propuestas, cada uno con diferentes objetivos. Estos últimos introducen en mayor o menor medida elementos pragmáticos para comprender la formulación y aplicación de las idealizaciones y las abstracciones en los modelos. Tomaré en cuenta estas aportaciones para aproximarme a los modelos incluidos en los libros de texto.

En este trabajo recorro la siguiente ruta. En el capítulo 1 comienzo por describir algunas características de los libros de texto que se han estudiado en México en los últimos 30 años. Enseguida, analizo la perspectiva de Ronald Giere acerca de los libros de texto de mecánica, luego, basado en una serie de críticas puntuales al planteamiento de Giere, muestro que su propuesta no da cuenta cabal del papel de los libros de texto de mecánica en el quehacer científico. En el capítulo 2 hago un breve recuento de la idea de modelo, luego doy cuenta de la importancia de las idealizaciones y abstracciones en los modelos, describo enseguida la novedosa idea de modelos sugerida por Morrison y Morgan y, basado en estos dos últimos puntos, describo cinco metas epistémicas que guían a los autores en la elaboración de los libros de texto científico (de mecánica), los cuales en buena medida también orientan la comprensión del papel de esos libros en la producción de conocimiento científico.

---

<sup>28</sup> Arroyo y Donato 2007.

# Capítulo 1

*¿Modelos para armar?*

## *Los libros de Mecánica clásica*

La diversidad es el sello entre los libros de texto de mecánica y no resultaría fácil enumerar siquiera los elementos y las combinaciones de ellos que llevan a esa variedad, por ello enseguida sólo procuraré caracterizar algunas diferencias relevantes para mi estudio. Comienzo por la distinción entre libros de diferentes épocas. Los libros utilizados por una generación son diferentes a los empleados por otras. Por ejemplo, los textos de mecánica clásica en los que estudió Richard Feynman, escritos por Lemon, Sommerfeld, Pauli y Whittaker son diferentes a los libros que se comenzaron a utilizar en la década de los 60 del siglo pasado, pienso en los Resnick, Alonso, French, Goldstein y Marion.<sup>1</sup> Mientras en los primeros se privilegian discusiones teóricas y muestran un fuerte contenido experimental, y en los contenidos incluyen temas como la relatividad y la mecánica cuántica; en los segundos se toman en cuenta aspectos didácticos, se pone mayor énfasis en la resolución de problemas e incluyen la teoría del caos y los teoremas de conservación entre sus contenidos.

Una segunda distinción consiste en la profundidad de un libro que se propone para estudiantes de una misma disciplina, por ejemplo para físicos. Los libros para estudiantes de posgrado ofrecen contenidos más complejos con respecto a los textos empleados por los estudiantes de primeros semestres. De acuerdo al nivel al que se orienta, básico, intermedio o avanzado, los libros difieren en cuanto a énfasis en la matemática o en la física. Mientras los libros introductorios o básicos, por ejemplo Resnick, Sears–Zemansky o Savèliev, empleados por estudiantes de primer ingreso a la carrera de física, los autores se preocupan por aspectos cualitativos más que por ofrecer técnicas avanzadas de resolución de problemas, los libros para cursos de posgrado como lo son los de Goldstein y Landau

---

<sup>1</sup> Un par de libros por demás interesantes y en buena medida diferentes de los aquí mencionados son *Lectures on Physics* de Feynman y *Ensayos sobre mecánica clásica* de Juan B. de Oyarzabal. No los incluyo porque no son propiamente libros de texto, pues inicialmente no estaban pensados como tales.

manejan matemáticas muy avanzadas.

Ahora bien, los libros de mecánica dirigidos a físicos ofrecen contenidos cualitativamente diferentes a los textos escritos para ingenieros. No es lo mismo el libro *Mecánica* de la serie Berkeley, el cual pone énfasis en los principios fundamentales de la física e ignora temas como la estática, que los dos tomos del libro *Mecánica vectorial para Ingenieros* de Beer y Johnston, el cual enfatiza la práctica de resolución de problemas, después de una exposición teórica superficial, esto es, sin demostraciones ni discusiones profundas acerca de los conceptos y principios de la mecánica.

Asimismo, hay diferencias de estilo en los textos de mecánica, pues una distinción típica en los libros se puede observar en los libros escritos por autores franceses, soviéticos y norteamericanos. Mientras los primeros enfatizan el aspecto matemático, los últimos, se basan en buena medida en problemas muestra (ejemplares). Los textos soviéticos suelen ser muy concisos en las matemáticas y, en general, se apoyan en libros de problemas con soluciones sugeridas.<sup>2</sup> Por supuesto, libros con diferentes estilos han circulado y circulan por todo el mundo.

### *El planteamiento de Ronald Giere*

Los textos de mecánica clásica utilizados actualmente en las carreras de física son una expresión de la investigación reciente en ese campo, como se puede ver en los temas incluidos en libros muy influyentes como Resnick, Goldstein y Marion<sup>3</sup>, y este hecho fue uno de los hilos conductores que llevaron a Ronald Giere a plantear su idea de modelos, como ya lo indiqué antes. En su libro

---

<sup>2</sup> En general, los libros editados en la Unión Soviética contienen muy pocos problemas de final de capítulo y suelen complementarse con textos de problemas.

<sup>3</sup> Resnick y sus co-autores mencionan que para enriquecer su texto se inspiran en los artículos de las revistas *American Journal of Physics* y *Physics Teacher*, por su parte, Goldstein y Marion señalan que las modificaciones en sus textos para las nuevas ediciones rescatan los temas de actualidad en el campo. Específicamente, ambos incluyeron en sus ediciones más recientes tópicos acerca de teoría del caos o la dinámica no-lineal, disciplinas en auge la década pasada.

*Explaining science* Giere llevó a cabo un análisis de textos de mecánica un poco diferente al que yo mismo presenté en la sección anterior de este capítulo.<sup>4</sup> Como resultado de su estudio, observó dos cuestiones. Por un lado, prácticamente todos los libros de mecánica tienen la misma estructura temática: comienzan con el tema de cinemática, siguen con dinámica, pasan por los principios de conservación y terminan con diversas aplicaciones de la mecánica clásica, por ejemplo, el estudio de los sistemas de partículas, el problema del cuerpo rígido o del campo central.<sup>5</sup> Por otro lado, hay una separación entre teoría y aplicaciones: mientras en los primeros capítulos se presenta la teoría de la mecánica clásica, en los siguientes ésta se utiliza para resolver problemas de interés en el tema.<sup>6</sup>

A partir del análisis anterior, Giere sostiene que los libros de mecánica clásica están estructurados a partir de modelos, más que en teorías universales. Más aún, concluye que lo mismo sucede con las formulaciones de la mecánica clásica con que trabajan los investigadores. En el marco de su propuesta del realismo constructivo, Giere expone que las teorías científicas se basan en modelos.<sup>7</sup> En esta propuesta se pueden identificar tres elementos: una definición teórica, un modelo teórico y varias hipótesis teóricas que relacionan en términos de similitud un sistema real y alguno de los modelos teóricos. A continuación describiré cada uno de ellos con mayor detalle:

1) Una definición teórica. Comúnmente, esta definición puede entenderse como una estructura muy general en la cual pueden subsumirse acontecimientos de la realidad. En el caso que nos ocupa, la mecánica clásica, ese papel lo juega la segunda ley de Newton:  $F = ma$ . A partir de esta ley, por ejemplo, es posible estudiar el movimiento de la luna alrededor del sol, el movimiento de un proyectil y una infinidad de fenómenos físicos de mediana y gran escala.

Esta definición básica no es una generalización empírica, aunque así lo tomen los autores de algunos textos, por ejemplo, en un libro de reciente publicación se describe un experimento mediante el

<sup>4</sup> Una primera diferencia, más adelante indicaré otras más, es el universo de libros considerado, mientras Giere se restringe a los libros de nivel intermedio, yo considero una gama más amplia de textos de mecánica.

<sup>5</sup> Cfr. Giere 1988, pp. 64-65.

<sup>6</sup> El mismo Giere reconoce que no siempre es así, que en ocasiones se va exponiendo la matemática conforme se requiere para una aplicación, pero no vuelve a hablar de ello más adelante.

<sup>7</sup> Cfr. *Ibid.*, p. 82.

cual se establece la ley de Hooke para cuerpos elásticos de la siguiente manera:

La fuerza, el peso que cuelga  $mg$ , se transmite a lo largo de la cuerda inextensible que no tiene masa (su masa es despreciable comparada con  $m$ ), el resorte actuado (sic) por esta fuerza se alarga de  $L_0$  a  $L$  siendo  $L_0$  su longitud normal cuando no se aplica fuerza; el sistema completo se mantiene en equilibrio de tal forma que la fuerza que ejerce el resorte tiene la misma magnitud que el peso que cuelga ...Las mediciones de Hooke se pueden resumir en la figura...(en ella se puede observar que) mientras la elongación sea pequeña ( $\Delta L \ll L_0$ ), el resorte responde linealmente, más allá de esta limitación el resorte entra al régimen plástico[...].<sup>8</sup>

Sin embargo, la ley de Hooke está lejos de ser una generalización contenida en la segunda ley de Newton, pues al igual que en el ejemplo del reloj del abuelo de Giere, hay muchas aproximaciones e idealizaciones de por medio, entre otras: el resorte no tiene masa, está rígidamente sujeto por un extremo a una pared, las cuerdas no cambian su longitud ante tensiones o no tienen masa, la polea no causa fricción con la cuerda y su masa es igualmente despreciable.

2) Un modelo teórico o colección de modelos teóricos especificados por su definición. Los libros de mecánica están estructurados en modelos elaborados a partir de la segunda ley de Newton y diferentes tipos de fuerzas introducidas en la ley. Por ejemplo, si  $F = 0$ , se obtiene una familia de modelos equivalentes a todos los problemas de la estática, si  $F = mg$ , resulta la familia del tiro parabólico que contiene una subfamilia de la caída libre y así sucesivamente. También se profundiza en las matemáticas para obtener de ahí otros modelos. Es el caso de la formulación hamiltoniana con la cual se generan modelos en el espacio de fases que no se podrían obtener directamente con la segunda ley. De aquí parten otros modelos, básicamente en términos de estructuras matemáticas como base para la mecánica cuántica o la mecánica relativista.

Ahora bien, como la pertenencia de un modelo a uno de los conglomerados se alcanza por semejanza con los modelos auténticamente dentro de la teoría (constituida por modelos), y como nada en la estructura de los modelos mismos podría determinar que el parecido es suficiente para la pertenencia a la familia, entonces eso lo deben decidir los miembros de la comunidad científica. Así

---

<sup>8</sup> Yépez y Yépez 2007, p. 43.

pues, las teorías no sólo son construidas, sino socialmente construidas.<sup>9</sup>

3) Diversas hipótesis teóricas las cuales afirman que un sistema empírico real es similar a uno de los modelos teóricos. A decir de Giere, la interpretación preferida de los científicos de la relación entre los modelos y los sistemas reales (fenómenos físicos), la de *isomorfismo* planteada por Van Fraassen,<sup>10</sup> es débil, por lo cual sugiere en lugar de esta última, una correlación de *similitud* entre mundo y los modelos. Su planteamiento es el siguiente: si las hipótesis afirman similitud entre modelos y sistemas reales, se deben especificar aspectos (*respects*) y grados relevantes. Afirmer la verdad de una hipótesis es aseverar, ni más ni menos, un tipo indicado y grado de similitud entre un modelo y un sistema real.

Comúnmente, una hipótesis teórica es una entidad lingüística, por lo regular, una suerte de enunciado asertivo, de relación entre el modelo y un sistema real designado (o clase de sistema real). Una hipótesis teórica entonces es verdadera o falsa de acuerdo a si la relación aseverada tiene lugar o no. Pero en la formulación de Giere, la relación entre el modelo y el sistema real, no puede ser una de verdad o falsedad, ya que para él los modelos no son entidades lingüísticas.<sup>11</sup> Por ejemplo, el modelo del sistema Tierra – Luna resultante después de introducir en la segunda ley de Newton la fuerza propuesta en la ley de la gravitación universal y otra fuerza que representa la perturbación al sistema debida al Sol y el resto de los planetas del sistema solar predice una trayectoria, y ésta es *similar* a la trayectoria que resulta de dibujar las posiciones relativas de la tierra y la luna. Aquí la comparación se hace respecto a la trayectoria, y no respecto a los diámetros de ambos cuerpos celestes, el grado se establece cuando se menciona que la fuerza de perturbación sólo recoge la influencia del sol y el resto de los planetas del sistema solar (y se dejan fuera galaxias, cúmulos de galaxias, etc.).<sup>12</sup>

Giere también aplica la idea de similitud para dar cuenta de la forma en que se aprende en los

---

<sup>9</sup> Cfr. *Ibid.*, p. 86.

<sup>10</sup> En el capítulo 2 describo brevemente la propuesta de modelo de Van Fraassen.

<sup>11</sup> Cfr. Giere 1988, pp. 81-82

<sup>12</sup> Una descripción detallada y actualizada de Giere sobre la manera en que los modelos representan se encuentra en *Using Models to Represent Reality*, pero es una propuesta ligeramente diferente del autor, la cual no está contemplada en mi crítica.

libros por medio de modelos<sup>13</sup>; comparte con Kuhn<sup>14</sup> la idea de que los científicos no aprenden teorías para aplicarlas a cualquier caso en el mundo real; los estudiantes son *adiestrados* a lo largo de su formación por medio del uso de ejemplares (modelos) para resolver cierto tipo de problemas. El estudiante aprende estos modelos, y con ellos es capaz de abordar problemas reales, estableciendo similitud entre los modelos y el mundo:

[...], en la práctica real y como producto del adiestramiento, para resolver el problema los físicos no plantean de entrada las ecuaciones de Newton luego deducen una solución particular, sino que seleccionan de la memoria una representación del problema –un modelo- y trabajan sobre él. Lo que es recobrado de la memoria de largo plazo de los físicos, parece, no son los axiomas de la física, sino un modelo apropiado.<sup>15</sup>

### *Críticas a los modelos en libros de Giere*

No obstante el éxito de la perspectiva de modelos de Giere para describir de manera más genuina la estructura de los libros de texto de mecánica, es muy limitada para capturar la importancia de los libros en la investigación científica. Por ejemplo, la pretensión de construir todos los modelos de la mecánica clásica a partir de la segunda ley de Newton, impide apreciar el horizonte de posibilidades abierto por las formulaciones lagrangiana y hamiltoniana, como lo explico más adelante. De la misma forma, el intento de Giere por articular los modelos mecánica de los textos a partir de ejemplares cada vez más complejos, olvida la naturaleza del trabajo científico, en particular la proliferación de enfoques empleados por los estudiantes para la resolución de problemas de mecánica a lo largo de su formación.<sup>16</sup> Así, en lo que sigue me dispongo a señalar algunas críticas más puntuales a la posición de Giere, algunas son deliberadas, atacan específicamente las posiciones de este autor, pero otras resultan de la contrastación con otras propuestas de modelos.

---

<sup>13</sup> Giere, 1988, pp. 78-84.

<sup>14</sup> Kuhn 2004.

<sup>15</sup> Giere 1988, p. 88.

<sup>16</sup> Morrison y Morgan 1999, p. 31.

### *Crítica al primer elemento que caracteriza los modelos de Giere*

Comienzo por revisar el primer elemento de la propuesta de Giere, el que se refiere a la definición teórica a partir de la cual se estudian los problemas teóricos y prácticos relacionados con la mecánica clásica. Un primer problema proviene de la afirmación de Giere de que los libros de mecánica clásica se organizan a partir de la segunda ley de Newton, o las tres juntas tomadas como axiomas,<sup>17</sup> y una serie de problemas basados sobre las asunciones acerca de las formas de las fuerza en la segunda ley. Según esto, la forma de la fuerza provee el principal central de organización de la mayoría de los libros de mecánica.<sup>18</sup> Concretamente, primero se presenta el caso de fuerzas constantes, i.e. el caso del péndulo, donde  $F = mg$ ; después la fuerza de restauración de Hooke que depende de la posición ( $F = -kx$ ); luego el péndulo forzado cuya fuerza de resistencia depende de la velocidad ( $F = av$ ), y así sucesivamente. Las fuerzas son cada vez más complejas: constantes, dependientes de la posición, de la velocidad, etc.

Si bien es cierto que hay una serie de modelos a partir de la segunda ley, la forma de la fuerza no es el único interés de los autores de los libros de mecánica. Es decir, los autores de los textos no pretenden proponer únicamente diferentes ecuaciones diferenciales, resultado de formular una determinada función de fuerza a la segunda ley de Newton, luego resolverla. Como muestro en el siguiente capítulo, hay diferentes maneras de idealización y abstracción en la construcción de modelos. Esto es, escoger o llegar a plantear una función determinada es resultado de determinadas idealizaciones o abstracciones. Además, adiestrar a los estudiantes en el empleo de las idealizaciones y

---

<sup>17</sup> Parece una contradicción con la postura del mismo Giere señalada líneas arriba, pero no es así, pues son axiomas en tanto abstracciones para fijar modelos o familias de modelos a partir de una definición. En este caso la definición, la segunda ley o las tres juntas, juegan el papel de axiomas.

<sup>18</sup> Giere (1988, p. 79) menciona que algunos textos siguen un orden diferente de presentación, por ejemplo incluyen conservación de momento lineal y conservación de la energía, pero eso no afecta su argumento, pues todos estos principios se desprenden de la segunda ley de Newton.

las abstracciones es también un asunto relevante para los autores de los textos, pues aquellas son de muchos tipos y dependen del nivel y la orientación del texto, de los fines que se persiguen en el libro completo o en cada uno de los capítulos.

La propuesta de construcción de modelos de Giere sólo estaría comprometida con la idealización galileana o computacional (consultar la sección *Idealizaciones, abstracciones y aproximaciones* en el capítulo siguiente, donde se describen algunas maneras típicas de idealización en la ciencia), porque, como mencioné en párrafos anteriores, Giere supone que los libros de texto se organizan alrededor de la segunda ley y una serie de funciones de fuerza. Pero esto no necesariamente es así, pues los libros se construyen pensando en temas muy amplios y si bien las temáticas se ilustran con ejercicios planteados en términos matemáticos, se contemplan otros aspectos relevantes como la descripción misma de las idealizaciones y abstracciones utilizadas en la construcción del modelo, así como reflexiones sobre el grado de validez de tales modelos.

Esto es, en un texto, antes de introducir la ecuación diferencial o durante el desarrollo de las operaciones necesarias para resolver un problema, los autores justifican la pertinencia y relevancia de las idealizaciones, abstracciones y aproximaciones realizadas, también el lugar del modelo en un marco explicativo más amplio o su articulación con otros modelos relacionados con el problema a resolver. Aquí es necesario enfatizar, de acuerdo con Arroyo y Donato<sup>19</sup>, que no existe una receta para la aplicación de idealizaciones, abstracciones y aproximaciones, pues estas dependen tanto del modelo y la teoría empleados o del problema a resolver. En el siguiente capítulo describiré con más detalle la importancia de considerar diversos tipos de idealizaciones y abstracciones en la ciencia, por lo pronto basta mencionar por ahora que la idealización galileana es sólo una de muchas empleadas en la ciencia, y explicar el trabajo científico sólo en estos términos lleva a una visión parcial y reducida de la misma.

Además, en los libros se modelan también problemas que es posible simular o *reproducir* en el

---

<sup>19</sup> Cfr. Arroyo y Donato 2008, p. 6.

laboratorio, incluso problemas abordados y resueltos en otras materias con diferentes propósitos.<sup>20</sup> Estos problemas son relevantes no porque es posible “matematizarlos”, sino por la discusión alrededor del tipo de idealizaciones y abstracciones involucradas para dar cuenta de los fenómenos descritos, como también lo señalan Arroyo y Donato.<sup>21</sup> Más aún, los autores de los libros de mecánica también se esfuerzan por presentar explicaciones de fenómenos cotidianos o producidos de manera controlada en el laboratorio. Preguntas como qué es un rayo, por qué el cielo es azul, por qué una hormiga no puede alcanzar un tamaño mucho mayor con articulaciones del mismo material, por qué vuelan los pájaros, etc., no se explican por ecuaciones diferenciales, sino apelando a conceptos básicos, como la naturaleza de la luz, la refracción, la relación masa-volumen, etc.

Para abundar en torno a la debilidad de definir la mecánica en términos de la segunda ley de Newton y una serie de fuerzas, me referiré ahora a la argumentación sostenida por Corben y Stehle acerca del lugar ocupado por la mecánica clásica en la física de los años 50, los años previos a la segunda edición de su *Classical Mechanics*<sup>22</sup>. Para estos científicos la mecánica y la electrodinámica, son la base de las mecánicas cuántica y relativista, pero también de muchos de los campos entonces en boga, tales como la tecnología espacial, el diseño de aceleradores, la teoría del plasma, la magnetohidrodinámica, etc. De lo anterior no se sigue necesariamente que estos nuevos campos sean simples aplicaciones de aquellas materias clásicas, sino que resultan de una serie de problemas no resueltos (pero si pensados o sólo esbozados) o sólo esbozados por ellas. Por ejemplo, la tecnología espacial requiere modelaciones del comportamiento de la atmósfera, que se resuelven combinando resultados de la física clásica y contemporánea. Nuevamente, la mecánica no se reduce a resolver las ecuaciones diferenciales derivadas de la segunda ley y una fuerza.

---

<sup>20</sup> Pienso en problemas de electrónica como los circuitos eléctricos que utilizan una ecuación diferencial semejante a las empleadas en la mecánica. En el laboratorio es posible montar un circuito con resistores, inductores y capacitores y modelar el comportamiento de los circuitos a partir de las ecuaciones obtenidas en la mecánica.

<sup>21</sup> *Idem.*

<sup>22</sup> 1969, p. v.

### *Crítica al segundo elemento que caracteriza los modelos de Giere*

Según el planteamiento de Giere, en la mecánica se generan diferentes familias de modelos al aplicar a la segunda ley de Newton diferentes funciones de fuerza. Con estas familias de modelos es posible trazar una colección con estructuras “horizontales” graduadas, estructuras “verticales” jerárquicas, y estructuras “radiales” locales. Por ejemplo, el péndulo simple y el plano inclinado pertenecerían a una misma estructura horizontal, mientras que estas últimas están subordinadas a la fuerza constante  $mg$  en una estructura vertical, pues ambas se resuelven con una ecuación diferencial resultado de aplicar  $F = mg$  a la segunda ley de Newton. Finalmente, una estructura radial local se forma a partir de considerar como modelo focal el péndulo simple que depende de una sola fuerza de restauración, alrededor de este modelo focal se colocan, en un primer círculo, los péndulos amortiguados o impulsados (que requieren funciones de fuerza adicionales relativamente simples), y en un segundo círculo, péndulos físicos o dobles (requieren de funciones de fuerza más sofisticadas).<sup>23</sup>

La base para tal ordenamiento es una complejidad creciente, en el sentido de que las funciones de fuerza para la segunda ley son cada vez más complejas. Por ejemplo, cada modelo amortiguado se convierte en modelos focales alrededor de los cuales radian otros péndulos con lo que se crea otra estructura graduada.<sup>24</sup>

Un punto relevante en este desarrollo es el señalamiento de la existencia de un nivel básico de modelos en la mecánica clásica. A este nivel corresponden, por ejemplo, los modelos de la caída libre, del plano inclinado, del péndulo, del muelle, de la órbita circular y de la órbita elíptica. Un nivel superior se constituiría por las clases de fuerzas en la segunda ley: constante, de restauración lineal o inverso cuadrado. Un nivel aún superior, es el que surge de considerar si las fuerzas constituyen

---

<sup>23</sup> Giere 1994, p. 108.

<sup>24</sup> *Ibid.*, p. 110.

sistemas conservativos o no conservativos. Niveles inferiores corresponderían a las representaciones físicas de los objetos y sus movimientos.<sup>25</sup>

Esto es, los niveles superiores corresponden a modelos con niveles de mayor abstracción y los inferiores a modelos más específicos. Según Giere, las categorías del nivel básico son las primeras en ser aprendidas y son las que manejan los estudiantes que acaban de terminar un curso de mecánica clásica de nivel intermedio, mientras que los niveles superiores son los empleados por los expertos para abordar los problemas.

Mi punto de vista es que si bien esto podría funcionar bien para los modelos y las familias de modelos que Giere describe dentro de la mecánica newtoniana, no sería así en las formulaciones lagrangiana y hamiltoniana en las cuales sería más complicado elaborar modelos y establecer relaciones de cualquier tipo (radial, horizontal o vertical) entre ellos. Se podría argumentar que se puede evadir esta dificultad recurriendo a la reducción del problema resuelto en alguna de las formulaciones (lagrangiana o hamiltoniana) al problema equivalente en la mecánica newtoniana, pero eso no es posible en todos los niveles.

Esto porque las formulaciones newtoniana, lagrangiana y hamiltoniana, resuelven problemas diferentes y por lo tanto las dos últimas no son como estipula Giere, “técnicas matemáticas adicionales”<sup>26</sup>. Pues si bien es posible transitar de una formulación a otra en algunos problemas, en general ni los enfoques ni los alcances de cada una de ellas son los mismos. Marion<sup>27</sup> por ejemplo, asume que las formulaciones de Lagrange y Hamilton no son diferentes de la newtoniana, sin embargo reconoce que con ellas se puede abordar una gama más amplia de problemas.<sup>28</sup> Arnold por su parte menciona que,

El punto de vista hamiltoniano nos permite resolver completamente una serie de problemas de mecánica los cuales no tendrían solución por otros medios (por ejemplo, el problema de atracción por dos

---

<sup>25</sup> *Ibid.*, p. 111.

<sup>26</sup> Giere 1988, p. 68.

<sup>27</sup> Marion, pp. v-vi.

<sup>28</sup> Menciona también que el principio de Hamilton cubre varias teorías en un solo postulado único con lo que se logra economía matemática y elegancia.

centros y el problema de de las geodésicas sobre el elipsoide triaxial). El punto de vista hamiltoniano tiene también gran valor para los métodos de aproximación de la teoría de perturbaciones (mecánica celeste), para comprender el carácter general del movimiento en sistemas mecánicos complicados (teoría ergódica, mecánica estadística) y en conexión con otras áreas de la física matemática (óptica, mecánica cuántica, etc.).<sup>29</sup>

También Arnold sostiene la existencia de mayor generalidad de la formulación lagrangiana sobre la newtoniana, la cual puede considerarse un caso particular de aquella. Además, agrega que la perspectiva lagrangiana permite resolver completamente problemas en la teoría de oscilaciones pequeñas y en la dinámica del cuerpo rígido.<sup>30</sup> Detrás de las diferencias señaladas está el hecho de que al margen de las posibles continuidades entre las diferentes formulaciones (obviamente existe la secuencia histórica), en cada una de ellas se han hecho contribuciones para la física y la matemática, impensables desde las perspectivas alternas. Es el caso tanto de los sistemas de coordenadas generalizados<sup>31</sup> en la perspectiva lagrangiana, como del espacio de fases de la hamiltoniana. Como un corolario de lo anterior, hay que señalar que tanto en la formulación lagrangiana como en la hamiltoniana se han desarrollado formalizaciones matemáticas muy *finas* que muchas veces han antecedido o sugerido soluciones a problemas físicos.

### *Crítica al tercer elemento de los modelos de Giere*

Enseguida voy a señalar siete argumentos contra la similitud como vínculo entre los modelos y el mundo; de hecho este punto es uno de los puntos más cuestionados de su planteamiento acerca de la explicación en la ciencia. El primer argumento toca el problema empírico, los cinco siguientes se enfocan en el problema de la representación y el último cuestiona la idea de ejemplar empleado por Giere.

---

<sup>29</sup> Arnold 1989, p. 161.

<sup>30</sup> Cfr. *Ibid.*, p. 56.

<sup>31</sup> La mecánica newtoniana sólo *trabaja* en el espacio euclidiano y en el espacio de configuración.

El primero se lo debemos a Savage,<sup>32</sup> quien muestra la imposibilidad de encontrar similitud entre modelos y mundo sin recurrir a intervenciones empíricas (algo que Giere quiere evitar a toda costa). En todo caso, propone Savage, la supuesta similitud establecida entre un modelo y algo en el mundo debe tomarse sólo como metáfora. Savage muestra lo anterior con un ejemplo, supone como modelo un triángulo recto perfecto (el ejemplo clásico de Platón), y plantea la hipótesis según la cual la escuadra sobre el escritorio es similar al modelo. Pero si el modelo es un término o concepto, entonces la hipótesis es necesariamente falsa, porque los términos o conceptos no son ni siquiera aproximadamente triangulares. Desde luego, si la hipótesis es científica, ésta debe ser entonces directamente confirmada por medio de observaciones o indirectamente por inferencia de los datos observados. Pero si el modelo es un triángulo ideal transempírico, entonces la hipótesis no puede ser directamente confirmada, porque un triángulo ideal transempírico no puede ser comparado por medio de la observación con la escuadra sobre el escritorio.

Consecuentemente, la similitud del triángulo ideal al real sobre el escritorio debe ser confirmada indirectamente, por inferencia de los datos observados. Se le ocurre entonces observar y detecta primero que la escuadra tiene tres ángulos (lo hace observando y contando), uno de los cuales es aproximadamente recto (para lo cual puede utilizar un compás, o seguir otro método), resulta entonces que la escuadra satisface aproximadamente la definición de un triángulo recto (perfecto) como una figura plana con tres ángulos, uno de los cuales es recto. De lo que se sigue que la escuadra es similar al triángulo recto perfecto.

Las consideraciones anteriores muestran que una entidad empírica real no necesariamente puede ser representada por un modelo en cualquiera de los sentidos sugeridos por Giere, y por lo tanto, la hipótesis de su similitud es una metáfora.

A continuación, expongo cinco argumentos contra la similitud como teoría de la representación

---

<sup>32</sup> Savage 1998, p. 12.

científica, para ello sigo muy de cerca a Mauricio Suárez<sup>33</sup>. Antes de comenzar con estos argumentos es necesario aclarar el alcance de la crítica a este punto de la propuesta de Giere. En su *Explaining Science* de 1988, Giere asume una posición naturalista sin duda expresable mediante la siguiente oración “La representación científica es una relación factual entre entidades en el mundo que pueden ser estudiadas por la ciencia”. Ahora bien, pueden distinguirse dos formas de naturalismo, una débil, que afirma a la ciencia como vía de estudio de la representación, y otra fuerte, que asevera que la relación de representación no involucra en algún sentido esencial agentes intencionales y juicios de valor, sino que únicamente apela a los hechos. La postura de Giere de 1988, sintetizada en la oración entrecomillada en este mismo párrafo, corresponde a la formulación fuerte, mientras sus obras posteriores corresponden a la enunciación débil.

Una vez hecha la aclaración volvemos al tema. Para hablar de representación, deben tomarse en cuenta dos elementos, la fuente (*source*), es decir, el vehículo de la representación y la meta (*target*), su objeto. A es la fuente y B es la meta cuando y sólo cuando “A representa a B” es verdadero. Las fuentes (*means*) de las representaciones científicas pueden ser objetos físicos concretos, sistemas, modelos, diagramas, imágenes o ecuaciones; y de manera semejante para posibles metas (*targets*). La concepción de la representación por similitud se puede enunciar como sigue: A representa a B si y sólo si A es similar a B, donde similitud es una generalización del parecido (*resemblance*). Esto es, dos objetos se parecen uno a otro si existe similitud significativa en su apariencia visual. Además, se asume que A y B son similares si y sólo si comparten un subconjunto de sus propiedades.

Para emprender la crítica, también debemos distinguir las vías (*means*) de los constituyentes (*constituents*) de la representación. Revisemos esto con más detalle: en cualquier momento, la relación R entre A y B es la vía de la representación de B por A si y sólo si, en ese tiempo, R está activamente considerado en una investigación sobre las propiedades de B razonando acerca de A. Por otra parte, la relación R entre A y B es el constituyente de la representación de B por A si y sólo si la R obtenida es

---

<sup>33</sup> Cfr. Suárez 2003<sup>a</sup>, pp. 225-238.

necesaria y suficiente para que A represente a B. Debe tomarse en cuenta que existe una gran variedad de medios por los cuales trabaja la representación, entre otras, isomorfismo, similitud, ejemplificación, instanciación, convención y verdad. En muchos casos las vías de la representación pueden ser opacas a los legos.

El primer argumento contra la similitud como representación consiste en afirmar que la similitud no aplica a todos los dispositivos representacionales. Esto es, la similitud no es la mejor vía para la representación, por ejemplo, al comparar el gráfico de un puente (la fuente) y el puente mismo (la meta) las diferencias entre ellos son enormes, por lo que la representación por medio de similitud es difícil de establecer; de hecho, una vía de representación más apropiada es el isomorfismo entre las estructuras del puente y el gráfico.

El segundo argumento consiste en demostrar que la similitud no posee las propiedades lógicas de la representación. La representación científica es un tipo de representación; i.e. comparte las propiedades de la representación ordinaria. La representación en general es esencialmente un fenómeno no simétrico: una fuente no es representada por un *target* solamente en virtud del hecho de que la fuente representa el *target*. Veamos esto con mayor detalle: la similitud asume que la representación científica es esencialmente una relación objeto-objeto, más que una relación palabra-objeto, o estado mental-objeto. Esto es, la similitud asume que ambos *relata* de la relación de representación son entidades similarmente estructuradas dotadas con propiedades. Esto explica porque isomorfismo y similitud han sido particularmente atractivos para los defensores de la concepción semántica de las teorías, desde luego en esta concepción las teorías no son entidades lingüísticas sino estructuras.

La representación no es reflexiva, como se puede ver por medio del siguiente ejemplo del ámbito del arte: el cuadro donde Velázquez retrata al Papa Inocencio X, muestra al Papa posando para Velázquez, pero no retrata de ninguna manera al Papa mismo, pues en todos los casos la representación típicamente agrega algo al objeto, y también le sustrae. Así pues, la fuente y el *target* no son

exactamente idénticos.

La representación tampoco es simétrica. Ilustremos esto con la misma pintura de Velázquez: el Papa ahí representado, no representa la pintura; más allá de si hubo o no un objeto que representar, aunque el Papa hubiera posado para Velázquez, podría no ser cierto que él represente la pintura. Tampoco la representación es transitiva, por ejemplo el pintor Francis Bacon, siguiendo con el ejemplo artístico, produjo gran número de variaciones tratando de representar el lienzo de Velázquez, pero ellos representan el cuadro de Velázquez no al Papa. Luego, si la similitud se define como reflexiva y simétrica pero existen representaciones sin ninguna de esas propiedades, entonces la similitud no puede ser la vía de la representación.

El tercer argumento se refiere a la mala representación (o representación equivocada). Hay dos formas de malas representaciones. El primer fenómeno de mala representación se refiere a la equivocación de *target*: frecuentemente suponemos equivocadamente que el *target* de una representación es algo que en realidad no representa. Por ejemplo, si miramos el cuadro del Papa Inocencio pintado por Velázquez, pero no sabemos nada acerca del pintor ni de su modelo, y la imagen en la tela se parece a un conocido, podríamos cometer el error de decir que el artista (Velázquez) pintó a ese conocido. De lo anterior se desprende que la habilidad y actividad requeridas para llevar a cabo la experiencia de ver (la apreciación por un agente de la cualidad “representacional” de la fuente), no es una consecuencia de la relación de representación sino una condición para ella.

La segunda forma de la mala representación es el fenómeno de la imprecisión. La mayoría de las representaciones son en cierto grado imprecisas en algunos u otros aspectos. La similitud requiere que el *target* y la fuente compartan algunos aunque no necesariamente todas sus propiedades. Por lo tanto, la similitud puede explicar el tipo de imprecisiones que surge en una representación completa o idealizada de un fenómeno, i.e. particularmente deja fuera características resultantes como la representación altamente idealizada del movimiento clásico del plano sin fricción. ¿Qué tan lejos es la

divergencia entre las predicciones y las observaciones considerando los valores de las propiedades obtenidas? La similitud no ofrece una guía sobre este tema.

El cuarto argumento se refiere a la carencia de necesidad. La similitud no es necesaria para la representación (la relación de representación puede obtenerse aún si la similitud falla). Recordemos que Giere define similitud como A representa a B si y sólo si A y B son similares en los *aspectos relevantes*. Hay dos objeciones notables a esta formulación. Primero, cabe preguntarse ¿cuál es el criterio de relevancia que se invoca? El criterio presumiblemente debe ligar la relevancia de la relación representacional misma, porque de otra manera podrían no existir razones para esperar que la similitud sea relevante como para ser necesaria en la representación. Las propiedades compartidas relevantes son precisamente aquellas que pertenecen a la representación. Así, obtenemos que, A representa a B si y sólo si A y B son similares en aquellos aspectos en los cuales A representa a B. Sin embargo, para iluminar esto implica aclarar el empleo actual de la similitud, esto resulta circular para ser un análisis de la representación.

Los defensores de la similitud podrían responder que ‘relevancia’ es una noción completamente intuitiva de una aplicación directa en la práctica; una noción primitiva que no requiere mayor análisis. Pero esto no es así dado que puede ocurrir que una ecuación podría ser muy diferente del fenómeno que ella representa. Por ejemplo podemos estar conformes con afirmar que la mecánica newtoniana proporciona una representación del sistema solar, aún si es claro que la mecánica newtoniana, sin las correcciones de la relatividad general, es empíricamente inadecuada. Tampoco resuelve comparar un subconjunto de propiedades que corresponden a aquellos movimientos predichos de manera correcta, pues si nos fijamos en los casos de aproximación cuantitativa, esto normalmente no ayuda. En ningún caso la mecánica newtoniana describe movimiento planetario alguno en una vía cuantitativamente precisa.

El quinto argumento trata de la no suficiencia. La similitud no es suficiente para la

representación. La relación de representación puede fallar aun si se sostiene la similitud. No se puede garantizar una representación en la cual la fuente conduzca a la meta (*target*). La similitud no puede capturar esta capacidad de relación representacional para tener una investigación competente e informada de consideración de la fuente al *target*. Pero es que esta característica se encuentra en el corazón de la no-simetría fenomenológica de la representación. Considera por ejemplo dos lentes idénticas. Ellas comparten todas sus propiedades, y son entonces tan similares como podrían serlo, pero ninguna de ellas conduce al otro salvo que ellos estén en una relación representacional, entonces únicamente si sabemos cuál es la fuente tendremos la capacidad de llegar al *target*.

Mi última crítica al tercer elemento de Giere se centra en el supuesto aprendizaje en los libros por medio de semejanza (primero visual, luego abstracta). Este punto es problemático por varias razones, pero sólo describo una de las más relevantes relacionada con un aspecto de mi propuesta acerca de los libros de texto: Giere asocia a los modelos una idea de ejemplar por lo menos ambigua. En un caso extremo recurre a la perspectiva clásica de conceptos,<sup>34</sup> la cual enfatiza la posición exclusivamente estructuralista de Giere, pues habla de condiciones necesarias y suficientes para la pertenencia de un modelo a una familia (i.e. a una estructura matemática). Con esa idea de ejemplar, la tarea del científico se restringiría a buscar todas las funciones de fuerza que se le pudieran ocurrir y salir con ellas al mundo a ver qué fenómeno es compatible con alguno de los ejemplares (modelos)

---

<sup>34</sup> Murphy, G.L. (2002), resalta las siguientes complicaciones de la perspectiva de ejemplares en psicología cognitiva:

- 1) No hay una definición precisa de lo que es un ejemplar, acaso que es un ítem contra el que se comparan otros para formar una categoría. En esta perspectiva no hay un concepto real, porque no hay una representación sumaria que comprenda todos los miembros de una categoría. La perspectiva de ejemplares se basa en la similitud, el cual es un concepto problemático.
- 2) Aunque la perspectiva tiene una explicación natural para el fenómeno de tipicidad, esto es, los ítems más típicos son aquellos que son similares a algunos miembros de la categoría. Tiene problemas con respecto a la elección de ítems de manera consciente. La cuestión es que si se piensa en los ejemplares como almacenados en la memoria, es difícil imaginar la convocatoria o revisión consciente de algunos de ellos para contrastarlos de manera consciente con un ítem desconocido.
- 3) No explica los principios de tipicidad de los conceptos, y no explica de forma clara la categorización de la familia de semejanza.
- 4) Sólo toma en cuenta rasgos o características estructurales, de ninguna manera las funcionales.
- 5) Asume que existen rasgos anidados de los conceptos.
- 6) No toma en cuenta que no todos los conceptos poseen características necesarias y suficientes ni que existen instancias de casos no claros.

construidos. Supone un mecanismo de simple comparación, pues para abordar un problema nuevo, sólo hay que recordar un modelo (fijo) aprendido y aplicarlo, pero en la ciencia no se trabaja así. Los modelos empleados por los científicos son producto de idealizar, abstraer y aproximar fenómenos a partir de ejemplares *inacabados*.

En síntesis, la perspectiva de modelos de Giere muestra inconsistencias que le impiden dar cuenta de la estructura y función de los libros de texto científicos. Ni las definiciones teóricas, ni las familias de modelos ni la similitud dan cuenta de la diversidad de los libros de texto científicos que expuse en la primera parte. En todo caso sólo puede describir los modelos más simples expuestos en los libros de texto, acentuadamente, de los ejemplos más sencillos de la mecánica newtoniana, los cuales son susceptibles de simplificación para un tratamiento fundamentalmente matemático. Tampoco muestra la utilidad de los textos en la investigación científica, pues su propuesta no contempla como ante un nuevo problema se podrían escoger las aproximaciones o idealizaciones adecuadas para plantearlo o resolverlo, dado que ello no depende sólo de la ecuación diferencial que resulta de escoger una fuerza. Asimismo, demostramos la incapacidad de la propuesta de Giere para dar cuenta de la representación en la ciencia y, finalmente, que su idea de aprendizaje a partir de ejemplares (visuales y abstractos), es problemática, entre otras cuestiones por la idea de ejemplar rígido en la que basa.

## Capítulo 2

*Todo problema resuelto es trivial*

En el capítulo anterior se expusieron de manera breve algunas características de los libros de texto de mecánica. También que prima entre ellos diversidad y cambio en el tiempo; los propósitos y estilos de los autores se manifiestan en la existencia de textos de mecánica diferentes entre sí. Además, un mismo libro se transforma de una generación a otra debido al interés cambiante de la comunidad académica o al desarrollo del área a partir de la introducción de nuevos conceptos y novedosos tratamientos matemáticos. Por supuesto, los modelos en el seno de los libros son expresión de estas diferencias y cambios, pero también, y de manera fundamental, son el medio por el cual se introduce el sello particular de cada autor o generación de autores en los textos. También los modelos funcionan como agentes de cambio en los libros, esto debido a su papel de vehículo empleado por los autores para actualizar los libros, e introducir en ellos los desarrollos teóricos y experimentales alcanzados en el área.

### *Modelos, un recuento*

¿Qué son los modelos? ¿Cuál es su papel en la ciencia? De alguna manera se ha procurado responder esta pregunta a lo largo del texto, al cuestionar la propuesta de 1988 de Ronald Giere, pero vale la pena hacer un rápido recuento para contextualizar esta formulación y plantear las propuestas más recientes en las que sustentaré mi tesis central.

Patrick Suppes distingue entre teoría y modelos,<sup>1</sup> para él la primera es una entidad lingüística consistente de un conjunto de enunciados, mientras los segundos son entidades no lingüísticas en que la

---

<sup>1</sup> Cfr. Suppes 1988, pp. 109-114.

teoría es satisfecha. Su idea de modelo es prácticamente idéntica a la de Alfred Tarski: “Una realización posible en la cual todos los enunciados válidos de un teoría T son satisfechos, se llama un modelo de T”,<sup>2</sup> en la cual una realización posible de una teoría es una entidad conjuntista del tipo lógico apropiado. Para Suppes esta idea de modelo la comparten las matemáticas y las ciencias empíricas, y la única diferencia es el uso que cada uno otorga al concepto. Si el significado del concepto se da en contextos técnicos bien definidos, los matemáticos preguntan cierto tipo de cuestiones, distintas a las que hacen los científicos empíricos.

Si se define formalmente un modelo como una entidad conjuntista, esto es, cierto tipo de tupla ordenada, consistente de un conjunto de objetos y relaciones y operaciones sobre estos objetos, no se excluye el modelo físico del género al que apelan los físicos. Porque el modelo físico puede simplemente tomarse para definir el conjunto de objetos en el modelo conjuntista.

Por su parte Van Fraassen<sup>3</sup> entiende los modelos como entidades no-lingüísticas (conjuntos de objetos, no conjuntos de enunciados), por lo que pueden ser caracterizados de muy diversas maneras, empleando varios lenguajes. Esto hace posible identificar una teoría, primero describiendo una familia de estructuras, sus modelos; y, en segundo lugar, especificando ciertas partes de esos modelos (subestructuras empíricas) como candidatos para la representación directa de los fenómenos observables. Según Van Fraassen, para la ciencia es suficiente encontrar modelos que establezcan relaciones *isomórficas* entre las subestructuras empíricas y los fenómenos; la ciencia busca la adecuación empírica.

Para cerrar esta primera aproximación a la idea de modelos, debe recordarse que la posición de Ronald Giere coincide prácticamente con la de Van Fraassen, salvo que la relación entre los modelos y el mundo aquél la establece en términos de similitud y por lo tanto.

En síntesis, los autores coinciden en tres puntos: primero, los modelos son entidades no-

---

<sup>2</sup> Tarski 1953, p. 11. Citado por Suppes en el texto de la cita anterior.

<sup>3</sup> *Cfr.* Van Fraassen 1996, pp. 63–69.

lingüísticas que satisfacen un conjunto de axiomas; segundo, la teoría se constituye por los modelos que la satisfacen; y tercero, los modelos se forman a partir de idealizaciones, abstracciones y aproximaciones<sup>4</sup>. Mientras difieren en un par de puntos: por un lado, en su postura acerca de la relación entre los modelos y el mundo: Suppes y Van Fraassen hablan de isomorfismo en tanto Giere habla de similitud; por otro, no concuerdan respecto al problema del realismo: Giere se asume como realista (no muy ortodoxo), mientras Van Fraassen es declaradamente anti-realista.

Respecto al primer punto divergente, sólo baste decir que la idea de isomorfismo para tratar la relación entre los modelos y el mundo propuesta por Van Fraassen no es una alternativa a la propuesta de similitud de Giere, aquélla puede rechazarse por medio de los cinco argumentos formulados por Mauricio Suárez que yo emplee en la refutación de la similitud en el capítulo anterior. Se puede argüir más al respecto, pero ello, al igual que el espinoso tema del realismo, queda fuera de los propósitos de este ensayo.

Sin embargo, sí argumentaré contra las tres ideas de modelo a partir de cuestionar los aspectos en los cuales coinciden. Sobre la primera, referida a la caracterización de los modelos como entidades no-lingüísticas, recuérdense mis argumentos contra la definición teórica en el capítulo anterior. Aquellos argumentos pueden también emplearse, *mutatis mutandis*, para refutar las formulaciones de Suppes y Van Fraassen. Agregaré un argumento más general expuesto por Margaret Morrison contra la concepción semántico-estructuralista:

Una de las dificultades de la concepción semántica de las teorías es que caracteriza los modelos teóricos como ‘modelos de la teoría’ – hay una estructura teórica básica que más que sólo constreñir los modelos aceptables, proporciona los bloques fundamentales de construcción con los cuales el modelo es construido. En ese sentido aunque pensamos que tenemos diferentes modelos para representar la fuerza de restauración lineal, hay una unidad básica estructural proporcionada por la teoría que sirve de unidad a los modelos en una sola familia o sistema. Sin embargo hay evidencia razonable que sugiere que esto representa únicamente una muy limitada descripción de la construcción de modelos en física; algunos modelos son construidos en una manera fragmentaria haciendo uso de diferentes conceptos teóricos nada parecido a un proceso sistemático.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Este punto no está explícito en mi síntesis sobre la posición de estos autores acerca de los modelos, pero si directa o indirectamente en las argumentaciones de los autores en las referencias señaladas para cada autor.

<sup>5</sup> Morrison 1999, pp. 43-44.

Morrison sostiene su argumento haciendo referencia al trabajo de Cartwright, Suárez y Schomar<sup>6</sup> y, posteriormente Suárez,<sup>7</sup> acerca de la construcción del modelo de los hermanos London para dar cuenta de la superconductividad. Según estos autores, los modelos en ocasiones funcionan como cajas de herramientas con muy pocos vínculos con las teorías y son una vía para el cambio en ciencia, ya que si éstos surgieran sólo de los marcos teóricos exitosos en un momento, no se podrían explicar muchos fenómenos de la naturaleza y del laboratorio. Esto me lleva a poner en duda el segundo punto de concordancia, según el cual las teorías se constituyen por los modelos que las satisfacen, porque si los modelos introducen elementos de otras teorías, entonces la idea misma de teoría puede variar de un contexto a otro, pues en principio no es claro el modo de distinguir qué elementos corresponden a una teoría y cuáles a otra. En todo caso habría una infinidad de teorías dependientes del contexto en el cual se resuelve un problema.

Finalmente, si bien los tres autores discutidos en este párrafo (pero principalmente Giere) hablan de idealizaciones, abstracciones y aproximaciones, lo cierto es que su argumentación es vaga y poco específica alrededor de aquellos conceptos. Debe recordarse que en el capítulo anterior ya argumenté contra Ronald Giere por su empleo parcial y restringido de los conceptos de idealización y abstracción en la formulación de modelos; mencionamos en aquella sección que el autor sólo está comprometido con la idea de idealización galileana.

### *Idealizaciones, abstracciones y aproximaciones*

En los años 80 del siglo pasado se comenzó a escribir intensamente sobre idealizaciones en la ciencia, motivados por la discusión en torno al realismo, Nancy Cartwright, Ronald Laymon, Ernan McMullin,

---

<sup>6</sup> Cartwright *et. al.* 1995.

<sup>7</sup> Suárez 1999a.

entre otros, argumentaron al respecto.

Nancy Cartwright, asumió una postura antirrealista en torno a las teorías y abrazó un realismo de entidades a partir de tres argumentos: primero, el manifiesto poder explicativo de las leyes fundamentales no argumenta sobre su verdad; segundo, si se explica lo que las leyes fundamentales dictan por medio de leyes *ceteris paribus*, composición de fuerzas y aproximaciones, de ninguna manera tales leyes nos llevan directamente a los hechos; y tercero, propone que el camino de la teoría a la realidad es primero de la teoría al modelo, luego del modelo a las leyes fenomenológicas. Las leyes fenomenológicas son o podrían ser verdades de los objetos de la realidad, pero las leyes son verdades únicamente de los objetos en el modelo.<sup>8</sup>

Para Cartwright las idealizaciones son distorsiones empleadas para construir los modelos, mientras que las abstracciones se refieren a considerar en el modelo únicamente factores causales y a la omisión de parámetros irrelevantes, además, el material en el cual se incrusta la causa se sustrae cuando se formula una ley abstracta.<sup>9</sup> Así pues, la autora es una de las primeras en destacar el papel de las idealizaciones y las abstracciones en la construcción de modelos.

Ernan McMullin polemiza con Nancy Cartwright y defiende una tesis realista. En su artículo *Galilean Idealization* revisa algunas técnicas características de lo que puede ser llamado generalmente ‘idealización galileana’ e investiga de manera breve sobre sus implicaciones epistémicas en las ciencias naturales. Para ello hace una aproximación histórico-conceptual al problema. Según McMullin, el punto central de la idealización no consiste en escapar de las irregularidades intratables del mundo real dentro de un orden inteligible de la Forma, sino hacer uso de este orden en un intento por alcanzar el mundo real de la cual la idealización toma su origen.<sup>10</sup> Descarta la posibilidad de mapear un problema físico a uno de índole matemático, por la sencilla razón de que las matemáticas empleadas en física han sido gradualmente permeadas cada vez con mayor contenido físico. Por ejemplo, la semántica de

---

<sup>8</sup> Cfr. Cartwright, 1983, pp. 3-4.

<sup>9</sup> Cfr. *Id.* 1989, pp. 187-188.

<sup>10</sup> Cfr. McMullin, 1985, p. 248

términos como ‘masa’ y ‘energía’ es física aunque  $m$  y  $E$  puede ser manipulados por una sintaxis algebraica. De esta manera, en sentido estricto, el libro de la naturaleza no está escrito en el lenguaje de las matemáticas. La sintaxis es matemática, mientras la semántica no lo es.<sup>11</sup>

McMullin señala que el empleo de la idealización en la construcción de modelos para abordar problemas cada vez más complejos se puede dar por dos vías: la idealización *formal* que consiste en introducir u omitir rasgos del fenómeno para la construcción del modelo. Por ejemplo, Newton tomó en cuenta la masa del Sol en su teoría de la gravitación universal pero omitió, aunque sabía de su existencia, la rotación del astro. Por otro lado, la idealización *material* se refiere a considerar sólo los atributos asignados a elementos contemplados en el modelo. Por ejemplo, en la teoría cinética de los gases se consideran moléculas, pero no su composición interna porque ésta no es relevante para el modelo.<sup>12</sup>

La idealización formal galileana consiste en la práctica de introducir distorsiones en las teorías con el fin de simplificarlas para hacerlas tratables matemáticamente. Esta idealización se justifica de manera pragmática, pues se utiliza para simplificar el problema y así poder abordarlo. La idea es que, una vez aplicado todo el poder de la matemática al problema idealizado, se emprenda un proceso de de-idealización (o concretización), el cual consiste en remover la distorsión, y de la mano agregar elementos a las teorías. La idealización galileana da lugar a la expectativa de futura de-idealización y una representación más aproximada del fenómeno en cuestión.<sup>13</sup>

Sin embargo, Margaret Morrison hace una crítica contra la explicación de la idealización sostenida por McMullin, quien asume que el proceso de sumar propiedades o calcular los efectos de la simplificación involucra un aspecto acumulativo que lleva gradualmente al modelo a ser una representación más realista del fenómeno. La dificultad con esta perspectiva como una reconstrucción filosófica, argumenta Morrison, es que en gran medida simplifica el proceso de construcción de

---

<sup>11</sup> Cfr. *Ibid.*, pp. 252-253.

<sup>12</sup> Cfr. *Ibid.*, pp. 258-259.

<sup>13</sup> Cfr. *Ibid.*, pp. 259-268.

modelos, lo que muestra un modelo idealizado de la práctica científica.

Esta explicación idealizada omite dos aspectos de la práctica científica *real*. Por un lado, que el crecimiento de modelos se lleva a cabo por la proliferación de estructuras más que por un proceso acumulativo; por otro, que los cambios en la comparación cualitativa o conceptual seguido vienen acompañados de pequeños cambios en el modelo o en las idealizaciones. Consecuentemente, no existe una estructura estable sobre la cual los parámetros se agreguen para incrementar el poder explicativo y predictivo de los modelos.<sup>14</sup> Por lo tanto, es necesario buscar por lo menos otros tipos de idealizaciones más acordes con la práctica científica, en particular compatibles con la proliferación de modelos en la ciencia.

Michael Weisberg<sup>15</sup> pretende dar cuenta de las múltiples maneras de idealizar y abstraer que aparecen en la práctica científica y formula una caracterización de las idealizaciones agrupadas en tres conjuntos: Galileana, minimalista y de múltiples modelos. Considera que a pesar de sus diferencias, es posible estudiarlas en una perspectiva unificada. La clave para él es enfocarse no sólo en la práctica y los productos de la idealización, sino también en las metas que la gobiernan y la guían. A estas metas les llama ideales representacionales: completitud, descubrimiento de los factores causales primarios, simplicidad, complejidad, máxima precisión y exactitud, y generalidad. Todas estas metas o virtudes epistémicas juegan un rol en la construcción, evaluación y análisis de los modelos científicos.

La idealización galileana es la misma que describe McMullin y ya la describí arriba, ahora presentaré otras dos. La idealización minimalista consiste en la práctica de construir y estudiar modelos teóricos que incluyen únicamente los factores causales que dan lugar al fenómeno; está conectada con la explicación científica. Esta idealización aísla las causas relevantes y entonces juega un rol crucial en la explicación. Esta idealización no tiene pretensiones de de-idealización. La diferencia más importante entre las idealizaciones galileana y minimalista son los caminos que siguen para justificarse, pues

---

<sup>14</sup> Cfr. Morrison, p. 153.

<sup>15</sup> Weisberg 2007.

mientras la primera se guía por la simplificación de los cálculos matemáticos, la segunda lo hace contemplando las variables relevantes.

Por último, la idealización de modelos múltiples, consiste en la práctica de construir múltiples pero incompatibles modelos, cada modelo utiliza diferentes supuestos acerca de la naturaleza y estructura causal que da lugar al fenómeno. Weisberg señala que las idealizaciones pueden tener diferentes justificaciones basadas en las metas o virtudes epistémicas y que esas tres clases de idealización no compiten entre sí por capturar mejor la esencia de la idealización en la ciencia, sino que son tres vías legítimas de idealización en la práctica científica.

Otro punto de vista sobre la idealización es el propuesto por Arroyo y Donato<sup>16</sup>, ellos entienden las idealizaciones como enunciados falsos en el mundo actual, pero que no obstante se mantienen bajo ciertas condiciones. Para ellos las idealizaciones no ocurren al margen de los modelos y teorías en los que se emplean, y lo más importante de todo, forman una cadena de diferentes clases de idealizaciones de múltiples niveles y esta cadena permite a los falsos modelos hacer su trabajo, por ejemplo, les proporcionan su poder heurístico y explicativo.

### *Modelos multifacéticos*

En mi análisis del capítulo uno, expuse que los libros de texto están compuestos por modelos, pero de un tipo diferente a los formulados por Giere. La pauta para asignar a los modelos de los libros un papel más central en la actividad científica, fue contemplar la resolución de problemas de final de capítulo. Concretamente, que los estudiantes pueden comprender perfectamente la teoría y los ejemplos plasmados en los libros, pero lo más difícil para ellos es plantear un problema, incluso más espinoso

---

<sup>16</sup> Arroyo y Donato 2008.

que resolverlo.

Conforme avanza el nivel de estudios, se proponen problemas que van requiriendo de decisiones individuales más complicadas en lo referente a cómo idealizar, hasta dónde aproximar, cuál es el formalismo más adecuado, etc. Incluso, en los estudios de posgrado se presentan problemas que pueden tener soluciones diferentes (todas correctas) según las decisiones tomadas en el camino. Hay entonces una transición casi *natural* de ahí a la forma que se trabaja en la investigación. Conforme se avanza en el estudio de la física, no sólo se adquiere mayor dominio de las matemáticas, también se alcanzan más “intuiciones” físicas.

Ahora bien, los modelos planteados por Giere, Suppes y Van Fraassen son insuficientes para explicar la diversidad de los libros. Cartwright nos da una alternativa, pero nos condena a las explicaciones causales y en los libros de texto existen otras formas de idealización y abstracción que desbordan tal principio. Por ejemplo, Martin R. Jones señala que “... el término idealización se aplica, primero y en primer lugar, a aspectos específicos en los cuales una representación dada se distorsiona, mientras que el término abstracción aplica meramente a las omisiones.”<sup>17</sup>

Se requiere entonces una nueva manera de entender la idea de modelo en los libros de texto, así como de las idealizaciones y abstracciones para construirlos, comencemos por estas últimas. En el capítulo anterior y en las secciones anteriores de este capítulo, señalé ya algunas características novedosas planteadas acerca de la idealización y la abstracción a partir de presentar una serie de ejemplos de los libros de texto, y de las críticas y propuestas de algunos autores, ahora voy a procurar articularlas. Primero, mostré que Giere piensa los modelos de los libros como ejemplars rígidos y, utilizando los argumentos de Morrison, mostré que en la práctica científica (de acuerdo con Giere, expresada en los libros de texto) prima la proliferación de modelos antes que la acumulación a partir de algunos de ellos. Segundo, la idealización galileana no da cuenta de todos los tipos de idealizaciones que aparecen en los libros, existen por lo menos las de tipo minimalista y de múltiples modelos sugeridos

---

<sup>17</sup> Jones 2005, p. 174.

Weisberg. Tercero, también de acuerdo con Weisberg las idealizaciones, aparte las prácticas y productos, dependen también de los ideales representacionales (metas o virtudes epistémicas) y a las necesidades pragmáticas de cada modelo. Los ejemplos presentados en el capítulo 1 dan fe de este hecho. Cuarto, en consonancia con el planteamiento de Arroyo y Donato en los libros de texto encontramos encadenamientos de idealizaciones consideradas por los autores de los libros para plantear o resolver problemas.

Vamos ahora con la idea de modelo. Recientemente una gran cantidad de autores han procurado dar cuenta de las diferentes características de los modelos empleados por científicos y filósofos de la ciencia. Morrison y Morgan<sup>18</sup> han destacado en en esa búsqueda, en particular ellas describen el papel de los modelos en cuatro ámbitos: la construcción, el funcionamiento, la representación y el aprendizaje. En todos ellos es necesario pensar los modelos como autónomos de la teoría y del mundo, porque así pueden ser utilizados como instrumentos de exploración en ambos dominios. Ahora bien, existen razones para pensar que efectivamente los modelos son autónomos: “Los modelos por virtud de su construcción incorporan un elemento de independencia de la teoría y los datos (o fenómenos): esto es porque ellos están compuestos de una mezcla de elementos que incluyen aquellos fuera del dominio original de investigación”.<sup>19</sup>

Por mi parte, considero que, aparte de los ideales representacionales propuestos por Weisberg para las idealizaciones, los modelos constituyentes de los libros de texto contienen las siguientes virtudes epistémicas y metodológicas: 1) Enseñar a idealizar y abstraer en la ciencia en general y la física en particular; 2) construir nuevos modelos relativos a un problema específico a partir de la gran diversidad de posibilidades de idealizar y abstraer sobre otros modelos; 3) problematizar fenómenos de la vida cotidiana; 4) representar e intervenir en el mundo; y 5) enriquecimiento de los modelos y textos por medio del diálogo intersubjetivo. Veamos detalladamente cada uno de estos aspectos.

---

<sup>18</sup> Morrison y Morgan 1999.

<sup>19</sup> *Ibid.*, p. 14

Enseñanza de idealizaciones y abstracciones. Los modelos de los libros de texto son el punto de partida para aprender acerca de las idealizaciones, abstracciones y aproximaciones en la mecánica. Como señalé antes, la primera experiencia en este sentido es la que viven los estudiantes al enfrentarse a los problemas de final de capítulo en los libros. Si bien son problemas sencillos, requieren que el estudiante seleccione la ecuación que le pueda ser útil para resolverlos, primero por comparación entre las ecuaciones desarrolladas en el texto, pero en cursos posteriores comienza a realizar idealizaciones y aproximaciones más complejas, como también ya me referí antes respecto a los estudiantes de posgrado. De la misma manera, la investigación en la física o la ingeniería, muchas veces se lleva a cabo a partir de los modelos de los libros.

Lo anterior implica que en los libros de texto científicos no se aprende por medio de la memorización de modelos, sino modelando ejercicios de los libros y posteriormente problemas del mundo, con el apoyo de los modelos plasmados en los textos; se aprende manipulando los modelos. Por ejemplo, para modelar un sistema de poleas, no se buscaría en la memoria la solución a la máquina de Atwood o alguna variante para aplicarla a esta nueva situación, más bien se recurriría a plantear el problema desde primeros principios, acaso de los problemas resueltos sobre poleas en los libros se habrán aprendido los criterios para considerar las fuerzas relevantes y la técnica para ubicarlas en un diagrama de cuerpo libre. Al emplearlos de esta manera es claro que los modelos no son objetos fijos, sino cambiantes de acuerdo al contexto.

Construcción de nuevos modelos. Para resolver un problema de la vida cotidiana, el físico o el ingeniero, recurren en primera instancia a los libros, en ellos encuentra modelos que le pueden ser de utilidad, pero a diferencia de la propuesta de Giere, quien lo tomaría para aplicarlo directamente a la situación, el físico o ingeniero, toma los modelos (ejemplares) de los libros como punto de partida. A partir de ellos aplica una serie de abstracciones e idealizaciones para posteriormente obtener un modelo que le permita resolver el problema. Veamos esto con un ejemplo.

Margaret Morrison<sup>20</sup> está de acuerdo con Giere en que la mecánica newtoniana proporciona todas las piezas necesarias para describir el movimiento de un péndulo y que las leyes de la teoría no pueden ser aplicadas directamente al objeto, pues las leyes describen varias clases de movimientos en circunstancias idealizadas, pero todavía se requiere algo aparte que permita aplicar esas leyes a objetos concretos. El modelo del péndulo que aparece en los textos juega ese rol: “proporciona un contexto más o menos idealizado donde se aplica la teoría: de un modelo inicialmente idealizado se pueden construir las correcciones apropiadas tal que el modelo llegue a ser una representación cada vez más realista del péndulo real”.<sup>21</sup>

Para mostrarlo, Morrison toma el problema del péndulo del abuelo de Giere de donde este lo dejó y desarrolla, a partir de la ecuación idealizada y aproximada del péndulo, un nuevo modelo empleando otras aproximaciones e idealizaciones que, finalmente, da cuenta del funcionamiento del reloj del abuelo. Este procedimiento ilustra también que las decisiones que se van tomando en el camino llegan a ser parcialmente independientes de la teoría de la cual se partió. Por ejemplo, para el caso del reloj del abuelo, en algún momento debe elegirse sobre la expresión de la fuerza de rozamiento que el aire opone al péndulo.<sup>22</sup> Ésta ya no depende de la ley del péndulo, tampoco de la segunda ley de Newton, pues esa expresión (de la fuerza de rozamiento) es resultado de observaciones fenoménicas.

La independencia parcial juega un papel fundamental en la construcción de los nuevos modelos, como se puede ver en el mismo ejemplo del reloj del abuelo de Giere o en los libros de mecánica, en la mayoría de los ejercicios de final de capítulo. Para resolver estos problemas, se requiere la introducción de información no incluida ni en la teoría desde la cual se partió, ni en los datos proporcionados en el problema. Estoy de acuerdo con Morrison y Morgan en que es una independencia parcial, porque los modelos no son simplemente herramientas, como en algún momento lo señalaron Nancy Cartwright

---

<sup>20</sup> Morrison, p. 47.

<sup>21</sup> Morrison, p. 48.

<sup>22</sup> *Cfr. Ibid.*, p. 16.

*et.al.*<sup>23</sup>

Problematización de problemas cotidianos. Para referirme a este punto me remito ahora a una de las críticas que formulé a Giere en el capítulo anterior, en la cual señalé que su idea de modelos definidos a partir de una definición teórica, no daba cuenta de un tipo de idealización propuesto en la taxonomía de modelos elaborada por Michael Weisberg,<sup>24</sup> específicamente la denominada minimalista, la cual, recuérdese, considera principalmente las causas relevantes de los fenómenos. Uno de los ejemplos expuestos por Weisberg para ilustrar esta clase de idealización es la ley de Boyle, en ella no se consideran las colisiones entre las moléculas del gas, sin embargo a bajas presiones esta ley se cumple, por lo que para este modelo, la interacción entre las moléculas resulta irrelevante para este problema.

Ahora bien, el problema de la ley de Boyle, u otros similares, se trata de la sección de sistemas de partículas de varios libros de mecánica.<sup>25</sup> Durante el planteamiento del problema se señala que se van a despreciar las interacciones entre partículas porque éstas son irrelevantes de acuerdo a resultados experimentales. De esta forma, el argumento no se centra sólo en la simplificación de los cálculos. Más aún, para complicar más el problema, pero siempre pensando en resolverlo en términos mecánicos, en los problemas de final de capítulo se sugiere considerar pequeñas fuerzas entre las partículas (moléculas del gas) para procurar aproximar a un resultado más cercano a los datos experimentales. Por supuesto esto requiere mayor complejidad matemática, pero también una consideración de más variables relevantes.

Representación e intervención en el mundo. Los modelos físicos que aparecen en los libros de mecánica representan una teoría. El plano inclinado o el péndulo representan la física newtoniana (una teoría), también representan movimientos reales de un objeto y de un péndulo sobre el plano inclinado, pero a diferencia de la propuesta de Ronald Giere, la representación en este caso se asume parcial y

---

<sup>23</sup> Cartwright *et. al.* 1995.

<sup>24</sup> Weisberg 2007, p. 6.

<sup>25</sup> Consúltense por ejemplo los textos de Marion y Goldstein.

fugaz. La idea de ejemplar-modelo es entonces más interesante porque va depender del contexto y de los propósitos de quien elabora el modelo. No hay una relación de similitud entre un modelo fijo y algo en el mundo, sino un modelo “incompleto” que se llega a completar al aplicarlo a un modelo más específico. Una vez cambia la situación el modelo no existe más. Es una especie de “modelo instantáneo”, del cual derivan también nuevos modelos.

Además, diferentes modelos implican diferentes formas de intervenir en el mundo. Por ejemplo, el problema de Kepler puede abordarse por cualquiera de las formulaciones de la mecánica clásica, newtoniana, lagrangiana y hamiltoniana. La elección de la formulación es pragmática, depende de lo que se busque. Si el propósito es encontrar la excentricidad de la órbita, conviene tratarlo con la segunda ley de Newton, pero si el propósito es buscar sus constantes de movimiento, es preferible abordarlo por medio de la formulación hamiltoniana. Esta última se puede emplear también si el interés es introducir perturbaciones al sistema y encontrar qué cantidades se conservan ahora, pues el sistema es super-integrable y ante una perturbación, algunas cantidades se seguirán conservando.

Diálogo por medio de modelos. En el capítulo anterior y al comienzo de éste, destacué cómo los libros cambian con el tiempo en parte debido a la actualización de los autores en las revistas especializadas o en otros libros y que la vía del cambio son los modelos. Pero existe otra vía de actualización de los textos también señalada en el capítulo previo respecto a los libros más influyentes de una generación: las aportaciones de los lectores. Ellos sugieren a los autores de los libros nuevas formas de plantear los conceptos, las teorías y los modelos por medio de sugerir nuevas maneras de resolver los problemas de final de capítulo, plantear nuevos problemas que permiten ejemplificar los tópicos planteados en los libros y sugerir fenómenos donde los modelos se pueden aplicar. De esta manera los libros resultan ser colectivos, socialmente contruidos.

## Conclusiones

Los libros de texto son una vía para comprender la actividad científica. El estudio de los textos muestra que ella se lleva a cabo por medio de modelos, también muestra la existencia de una gran diversidad de prácticas científicas, no sólo en las diferentes disciplinas, sino dentro de una misma área de investigación. De igual forma indica la movilidad de las prácticas con el tiempo: los libros de ahora son diferentes a los empleados por generaciones anteriores.

Pero si bien pueden rastrearse tradiciones de libros de texto trazando una geografía y una historia de ellos, también pueden escudriñarse las maneras en que se han intentado estudiar los libros de texto. Los intentos más recientes para abordar su estudio han sido por medio de los modelos, sólo que con una idea de modelo algo restringida, caracterizada fundamentalmente por una idea de ejemplar inmóvil, y con la pretensión de asociar a los modelos una relación con el mundo por medio de isomorfismo o similitud. Los problemas del isomorfismo no son muy diferentes de las mostradas para la similitud, por ejemplo ninguno de los dos puede dar cuenta de una relación entre el modelo y el mundo sin recurrir a contenidos empíricos; asimismo, los dos captan sólo un aspecto de las teorías: el aspecto matemático. Dejan fuera aspectos importantes como el papel que juegan el contexto en el cual se proponen los modelos, las abstracciones, idealizaciones y aproximaciones. Además, la representación en la ciencia no sólo se persigue por estas dos vías, isomorfismo y similitud, por ejemplo también existen, la ejemplificación, la instanciación y la convención. Por supuesto todas ellas se emplean en los libros de texto científicos.

Un libro puede entenderse mejor en tanto modelo dinámico, constituido por modelos también dinámicos que son parcialmente independientes de la teoría y del mundo que pretenden explicar, con un funcionamiento autónomo y una intención de representar el mundo de acuerdo con fines pragmáticos. Entendidos así, los modelos de los libros son un pretexto para aprender modelando, creando y recreando modelos a partir de los ejemplares expuestos en los libros y que han llegado ahí,

entre otras razones, como una respuesta a modelos anteriores, a partir de propósitos concretos relacionados con el nivel del texto, los propósitos de un programa, el ingenio con el cual el autor (o un lector) toma un problema teórico o práctico, y lo formula llevando a cabo una serie de abstracciones, idealizaciones y aproximaciones.

## Bibliografía

- Alonso, Marcelo. *Física. Volumen I: Mecánica*. Argentina; México: Addison-Wesley Iberoamericana, 1986.
- Arnold, V. I. *Mathematical Methods of Classical Mechanics*. 2º ed. Graduate Texts in Mathematics 60. New York; Berlin: Springer, 1989.
- Arroyo, Alfonso y Donato, Xavier. “Idealization and the Structures of Biological Theories”, 2008. Texto en vías de publicarse.
- Barger, Vernon D. *Classical Mechanics: A Modern Perspective*. 2º Ed. International Series in Pure and Applied Physics. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Boumans, Marcel. “Built-in justification” en *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University, 1999.
- Cartwright, Nancy. *How the Laws of Physics Lie*, Oxford: Clarendon Press, 1983.
- *Nature's Capacities and their Measurements*. New York: Oxford University, Oxford: Clarendon Press, 1989.
- Cartwright, N., Shomar T., and Suarez M. “The Tool Box of Science”. *Theories and Models in Scientific Processes*, (1995): 137-149.
- Corben, Herbert Charles. *Classical Mechanics*. 2º Ed. New York: Dover Publications, 1994.
- Feyerabend, Paul. *Contra el método: Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. 2º ed. Barcelona: Ariel, 1989.
- Feynman, Richard Phillips. *Física*. México: Fondo Educativo Interamericano, 1971.
- French, A. P. *Mecánica Newtoniana: Curso de Física del M. I. T.* México: Reverte, 1974.
- Frigg, R. “Models and Representation: Why Structures Are Not Enough.” *Measurement in Physics and Economics Discussion Paper Series, no. DP MEAS 25, no. 02* (2002).
- Giere, R. N. *Explaining Science: A Cognitive Approach*. University Of Chicago Press, 1988.
- . *Science without Laws*. University Of Chicago Press, 1999.
- . “The Cognitive Structure of Scientific Theories”. *Philosophy of Science* 61, no. 2 (1994): 276.
- . “Using models to represent reality”. *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* 43
- Goldstein, Herbert. *Classical Mechanics*. 3º ed., San Francisco, California: Pearson Education, 2002.
- Hempel, Carl. “Two Basic Types of Scientific Explanation” en Curd, M y Cover, J. A. *Philosophy of Science: the Central Issues*. New York: W.W. Norton, 1998.

- Jones, Martin R. "Idealization and Abstraction: A Framework" en *Idealization XII: Correcting the Model: Idealization and Abstraction in the Sciences, Pozna'n Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*. New York: Radopi, 2005.
- Kuhn, Thomas S. *La estructura de las revoluciones científicas*. Breviarios del Fondo de Cultura Económica; 213. México: Fondo de Cultura Económica, 2004.
- Lakatos, Imre. *La Metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983.
- Landau, L. D. *Mechanics*. 3º ed.; v. 1. Oxford: Pergamon, 1976.
- Laudan, Larry. *El Progreso y sus Problemas: Hacia una teoría del crecimiento Científico*. Madrid: Encuentro, 1986.
- Laymon, R. "Idealization, Explanation, and Confirmation" *Philosophy of Science Association*, 1(1980): 336-350.
- . "Scientific Realism and Hierarchical Counterfactual Path from Data to Theory" *Philosophy of Science Association* 1(1982): 107-121.
- McMullin, E. "Galilean Idealization" *Studies in History and Philosophy of Science* 16, no. 3 (1985): 247-273.
- Morrison, Margaret & Morgan, Mary. "Models as Mediating Instruments" en *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University, 1999.
- Morrison, Margaret. "Approximating the Real: The Role of Idealizations in Physical Theory" en *Idealization XII: Correcting the Model: Idealization and Abstraction in the Sciences, Pozna'n Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*. New York: Radopi, 2005.
- Resnick, Robert. *Física*. 3º ed. México: Cecsca, 1993.
- Ruben, D-H. "Arguments, Laws, and Explanation" en Curd, M y Cover, J. A. *Philosophy of Science: the Central Issues*. New York: W.W. Norton, 1998.
- Savage, C. W. "The semantic (mis) conception of theories." *16th Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (1998).
- Shapin, Steven. *La Revolución Científica Una Interpretación Alternativa*. Barcelona: Paidós Studio; Mexico: Paidós Ibérica, 2000.
- Sommerfeld, Arnold Johannes Wilhelm. *Mechanics*. 4º ed. Lectures on theoretical physics; 1. New York: Academic, 1952.
- Suárez, M. "Scientific representation: against similarity and isomorphism" *International Studies in the Philosophy of Science*, 17, 3, October 2003, pp. 225-244.
- . "Theories, Models, and Representation" en *Model-Based Reasoning In Scientific Discovery*, edited by L. Magnani, N. J. Nersessian, and P. Thagard. Kluger. New York: Academic/Plenum Publishers, 1999.

Suppe, Frederick. *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*. Urbana: University of Illinois, 1989.

Symon, Keith R. *Mecánica*. Madrid: Aguilar, 1974.

Thornton, Stephen T. *Classical Dynamics of Particles and Systems*. 5<sup>o</sup> ed., Belmont, California: Brooks/Cole, 2004.

Van Fraassen, B. "The pragmatics of explanation" en Boyd, R., Gasper, Ph. and Trout, J. D. *The Philosophy of science*, Massachusetts: MIT Press, 1991.

---. *La imagen científica*, Traducción de Sergio Martínez. México: UNAM, 1996.

Weisberg, Michael. "Three Kinds of Idealization". *The Journal of Philosophy*, 2008.

Whittaker, E. T. *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies: With an Introduction to the Problem of Three Bodies*. 4<sup>o</sup> ed., Cambridge: Cambridge University, 1959.

Yépez, E. y Yépez, M., *Mecánica Analítica*, México: UNAM, 2007.