

Modelos incompatibles y relaciones interteóricas en la física contemporánea

Claudia E. Vanney[†]

Resumen

El presente trabajo propone que los modelos utilizados por la física buscan dar cuenta de las regularidades fenomenológicas, mientras que las teorías aspiran a alcanzar un nivel explicativo mayor. Sin embargo, también se señala la necesidad de ahondar en el valor epistémico de las nociones de modelo y teoría para responder a los problemas de fundamentación de la física, muchos de ellos de naturaleza ontológica.

1. Introducción

Durante el último siglo la física ha ido evolucionando en la búsqueda de una formulación cada vez más amplia, intentando dar una explicación más unificada de un número siempre creciente de nuevos fenómenos. Las teorías científicas han propuesto unificaciones parciales, de una generalidad siempre mayor, con la aspiración de incorporar y explicar resultados empíricos cada vez más abundantes y precisos.

Para dar razón del conocimiento científico, muchos filósofos contemporáneos consideran que la noción de modelo juega un papel preponderante (Bailer-Jones 2009). Pues en la práctica de las ciencias empíricas, los modelos científicos desempeñan actualmente funciones heurísticas, didácticas, explicativas y predictivas. Sin embargo, como la modelización no es comprendida de un modo unívoco por la ciencia actual, el interés de la filosofía de la ciencia por clarificar el alcance de esta noción se ha incrementado notablemente en las últimas dos décadas (Cartwright & Jones 1999, Da Costa & French 2003, Rivadulla 2004, 2006, Jones 2005, Suárez 2009, 2010).

La práctica cotidiana de los físicos se dirige principalmente hacia el logro de fines específicos o hacia la ampliación del campo de aplicabilidad de las teorías vigentes, evitando la mayoría de las veces el cuestionamiento de las visiones ontológicas que las formulaciones científicas conllevan. Por una parte, es usual que los científicos utilicen simultáneamente varios modelos diferentes, algunos de ellos incluso incompatibles entre sí –hay, por ejemplo, cerca de treinta modelos distintos del núcleo atómico (Morrison 2011)–. Por otra parte, las diversas ramas de la física proponen diferentes formulaciones teóricas relativas a niveles de descripción particulares –por ejemplo, el microfísico o el macrofísico (Lombardi 2002)–. Así, la práctica científica suele dejar sin respuesta suficiente tanto las cuestiones que refieren a la interpretación de los modelos científicos, como aquellas que señalan la necesidad de alcanzar una adecuada articulación entre las diversas teorías físicas.

[†] Instituto de Filosofía, Universidad Austral. Para contactar al autor, por favor, escribir a: cvanney@austral.edu.ar.

2. La noción de modelo en la física

Si bien a la física le interesa estudiar el comportamiento de sistemas reales, que involucran una multitud de factores, no resulta posible tratar todas las características de estos sistemas de un modo pormenorizado. Por este motivo en la práctica científica los físicos utilizan sistemas simplificados e idealizados, a los que llaman *modelos*. Estos sistemas idealizados son entidades abstractas, que incorporan como variables sólo los factores que inciden de un modo significativo en la concurrencia del fenómeno, o aquellos que se consideran relevantes a la luz de las hipótesis de partida de la teoría. Los modelos, además, suelen representar ciertos elementos del sistema real por medio de entidades abstractas, generalmente de carácter matemático o geométrico (i. e. masas puntuales). Algunas veces, incluso postulan la existencia de objetos inobservables del sistema determinando sus características precisas, como por ejemplo su estructura interna.

Los modelos así contruidos distan mucho de ofrecer una imagen pictórica del sistema real. Es más, entre el sistema simplificado y el sistema real “se establece una relación compleja, de sistema a sistema, donde algunas variables del sistema real pueden no aparecer en el modelo [...] y, a su vez, algunas variables del modelo pueden no poseer su correlato en el sistema real” (Lombardi 1998, p. 11). En realidad, sólo cuando las variables adquieren un valor a través de una medición se puede mantener una correspondencia biunívoca entre las variables del modelo y las variables del sistema real. En estos casos, la determinación empírica de tales variables es condición necesaria, aunque no suficiente, para evaluar la pertinencia de modelo respecto al aspecto del sistema real que pretende describir.

Para un dado sistema real existe una multiplicidad de modelos, pues ellos pueden diferir en la elección de los factores considerados como relevantes, en la eventual postulación de alguna entidad inobservable o en el modo que se eligió para representar los elementos del sistema. Al elegir entre un modelo u otro en cada circunstancia particular el científico se mueve por un interés concreto. Es decir, un modelo sólo es mejor que otro en relación a los objetivos específicos de una investigación concreta.

3. Modelos complementarios y modelos incompatibles en la práctica científica

Los modelos científicos son idealizaciones con una capacidad limitada para explicar el comportamiento de los sistemas físicos. En ciertos casos es posible mejorar el modelo, añadiendo factores de corrección para obtener una mejor descripción del sistema real. Pero otras veces los fenómenos observados exigen la elección de un nuevo modelo, distinto al que se venía utilizando, que puede incluso contradecir los supuestos del modelo anterior. La diversidad de modelos utilizados por la física conduce a la pregunta: ¿cuándo resulta inconsistente el uso de diferentes modelos para describir un mismo sistema? Si diferentes modelos son capaces de predecir con precisión una cierta clase de fenómenos pero no otros, ¿cómo determinar cuál es el modelo más fiable? Por otra parte, el hecho de que la práctica científica utilice modelos que a veces son inconsistentes entre sí, ¿debilita el estatuto epistemológico de la información que recibimos de ellos? Se encuentran diversas posiciones sobre el papel que juegan los modelos en la práctica científica. Hay quienes interpretan los modelos como ficciones, otros los consideran herramientas con un valor instrumental, mientras que para un tercer grupo los modelos brindan una descripción más o menos precisa del sistema físico.

Para los perspectivistas, las leyes de la naturaleza son principios generales que definen una perspectiva, pero sin la pretensión de hacer afirmaciones sobre el mundo real (Giere 2006). Es decir: “desde la perspectiva de la teoría T, el modelo M representa al sistema S de un modo particular” (Morrison 2011, p. 343). Pero como para cada perspectiva los fenómenos pueden tener características diversas, no es necesario asumir que un único modelo es el correcto para describir el comportamiento de un sistema físico. Es decir, se puede utilizar un modelo u otro para tratar un mismo fenómeno, dependiendo del contexto en el que se esté trabajando. El perspectivismo admite

el valor representacional de los modelos, pero enfatiza también su carácter instrumental. Otros filósofos de la ciencia, como Knuuttila, proponen en cambio una concepción no representacionista de los modelos, tratándolos como artefactos epistémicos con una diversidad de funciones (Knuuttila 2005).

Ante la gran variedad de modelos de la física, Morrison sugiere distinguir entre modelos que son complementarios y modelos que son incompatibles (Morrison 2011). El uso simultáneo de modelos inconsistentes no parecería muy problemático cuando los modelos son complementarios. Por ejemplo, cuando se aplican a diferentes partes de un sistema físico. En estos casos suele ser posible establecer un marco conceptual unitario o una serie de principios básicos para encuadrar los distintos modelos que explican fenómenos diversos, como hace, por ejemplo, la mecánica de los fluidos al estudiar los fenómenos de turbulencias y el flujo laminar con la ecuación de Navier-Stokes. Pero la valoración de la información que recibimos de los modelos se complica cuando se utilizan modelos que son incompatibles entre sí, asumiendo supuestos muy diferentes sobre el mismo objeto de estudio. Esto sucede, por ejemplo, con los distintos modelos del núcleo atómico (Rivadulla 2004, pp. 148-152). Las circunstancias de este tipo manifiestan, para Morrison, un problema más serio, pues estarían detectando una falta de coherencia conceptual e indicando la carencia de una genuina comprensión teórica.

4. Las teorías físicas

Una teoría física está constituida por un conjunto de enunciados articulados deductivamente. Los elementos primitivos de la teoría y las hipótesis de partida (leyes de la teoría) se adoptan sin demostración. De ellos se deducen un conjunto de enunciados singulares –consecuencias observacionales– que permiten un testeo empírico de la teoría (Klimovsky 1994). Por ejemplo, son elementos primitivos de la mecánica clásica las nociones de espacio, tiempo, masa y fuerza (en cambio, la velocidad y la aceleración son nociones derivadas); las tres ecuaciones de Newton constituyen sus leyes fundamentales. El electromagnetismo añade a los elementos primitivos de la mecánica clásica la carga eléctrica; la fuerza de Lorentz y las cuatro ecuaciones de Maxwell son sus leyes fundamentales.

Los sistemas axiomáticos de las teorías físicas poseen propiedades sintácticas y semánticas. Las propiedades sintácticas son el resultado de relaciones formales entre los símbolos del sistema. Las propiedades semánticas, en cambio, permiten interpretar el sistema mediante una correspondencia de cada símbolo con su referente. Es interesante notar que los físicos llaman *modelos matemáticos* a estas estructuras puramente sintácticas, que articulan cuasi-enunciados carentes de contenido referencial, pero que poseen una regla de correspondencia interpretativa (Lombardi 1998). Como vemos, el término modelo es polisémico para la física, pues esta nueva noción de modelo, más propia de las ciencias formales que de las ciencias empíricas o fácticas, difiere de las idealizaciones mencionadas en la sección anterior.

Desde sus orígenes en la modernidad el desarrollo teórico de la física buscó expandir su propio marco conceptual, intentando explicar cada vez un mayor número de fenómenos. Así, las nuevas teorías físico-matemáticas propusieron unificaciones teóricas parciales, avanzando con propuestas de mayor generalidad. Las nuevas teorías utilizaron, para esto, estructuras axiomáticas más amplias que las de las teorías previas. Por ejemplo, el formalismo de la relatividad especial se desarrolla en el *espacio tetradimensional de Minkowski*. Los puntos de este espacio vectorial son cuadvectores con tres coordenadas espaciales y una temporal. El *espacio de Riemann* de la relatividad general también es tetradimensional (y con métrica pseudoeuclídea), pero a diferencia de este último no es un espacio plano.

5. Relaciones interteóricas y reduccionismo

Aún las teorías científicas más ampliamente aceptadas en la comunidad científica plantean problemas filosóficos de fundamentación relacionados con cuestiones de interpretación y de articulación interteórica. Los vínculos entre las diversas teorías suelen actualmente involucrar procedimientos de paso al límite o, inversamente, de introducción de grano grueso (Rohrlich 1990, Batterman 2001). Sin embargo, en la actualidad no resulta trivial determinar el modo preciso en el que se relacionan las diversas teorías científicas.

En la segunda mitad del siglo XX estuvo en auge el programa reduccionista, que aspiró a reducir todas las teorías científicas a una única considerada como fundamental. Este programa distinguió reduccionismos diversos: el *reduccionismo semántico* (el lenguaje del campo científico reducido se traduce al lenguaje del reductor), el *reduccionismo interteórico* (las leyes de la teoría reducida se deducen de la teoría reductora), el *reduccionismo metodológico* (el método privilegiado es el de la teoría reductora) (Sklar 2000). Además, estos reduccionismos suelen estar sustentados por un *reduccionismo ontológico*, que considera que la teoría reductora contiene el dominio de la realidad de la teoría reducida.

Debido a algunos casos “exitosos” de reducción, en diversas ocasiones el reduccionismo fue asumido de manera acrítica. La reducción de la termodinámica a la mecánica estadística es un caso paradigmático (Nagel 1961). Sin embargo, aun estos casos “exitosos” siguen presentando problemas abiertos: la termodinámica contiene leyes fundamentales que no son t-invariantes, mientras que las leyes fundamentales de la mecánica estadística son t-invariantes: ¿cómo recuperar la irreversibilidad con teorías reversibles o cómo adecuar la imagen de un mundo irreversible dentro de un mundo reversible? (Prigogine 1980, Castagnino, Gadella & Lombardi 2005). La mecánica cuántica ofrece también otro ejemplo paradigmático: la complejidad del problema de decoherencia muestra que recuperar la mecánica clásica desde la mecánica cuántica implica algo más que la mera aplicación de un límite matemático (Castagnino, Laura & Lombardi 2007). En la actualidad, prevalece la opinión de aceptar la coexistencia simultánea de diferentes formulaciones teóricas sin prioridades ni dependencias mutuas entre ellas. Pero esto implica aceptar que las diversas teorías físicas no brindan hoy una imagen unitaria del mundo (Cartwright 1999, Held 2009, Bueno & French 2011).

6. Teorías y modelos

La filosofía de la ciencia intentó dilucidar la estructura de las teorías científicas durante todo el siglo XX. La *concepción clásica*, heredada del positivismo lógico, hizo foco en la dimensión sintáctica de los “modelos matemáticos”. Para esta concepción las teorías físicas son entidades lingüísticas o sistemas axiomáticos formales, parcialmente interpretados mediante reglas de correspondencia (Braithwaite 1953). Sin embargo, esta perspectiva no pudo dar cuenta con claridad de las reglas interpretativas de correspondencia, encontrado dificultades para distinguir con nitidez entre teorías de las ciencias formales (como la matemática) y teorías de las ciencias fácticas (como la física).

Una versión corregida de la concepción clásica fue propuesta recientemente por Cassini con el nombre de *concepción proposicional*. Para esta perspectiva, una teoría es un conjunto de proposiciones significativas formuladas en un lenguaje interpretado. “Las proposiciones no son entidades lingüísticas, sino entidades abstractas portadoras de significado y verdad” (Cassini 2009, p. 30). Además, las teorías se pueden formular en lenguajes distintos y utilizando recursos lógicos y matemáticos diversos, pues la elección de la base axiomática depende de factores pragmáticos. La concepción proposicional responde así a la mayor objeción presentada a la concepción clásica: su incapacidad para distinguir entre una teoría y sus diferentes formulaciones.

Sin embargo, la perspectiva con mayor aceptación en la actualidad es la *concepción semántica* de las teorías. Para esta concepción ni las teorías son entidades lingüísticas, ni los recursos de un

determinado lenguaje son instrumentos apropiados para individuar las teorías. La identidad de una teoría científica no depende de su particular presentación formal, sino que está dada por una colección de modelos que representan a los fenómenos (Suppe 1989). Así, una misma teoría puede utilizar diferentes formalismos, siempre que estos definan una misma clase de modelos. Si, además, en el conjunto de modelos de la teoría se introduce una distinción entre modelos centrales y modelos periféricos de la teoría, esta perspectiva ofrece una mayor flexibilidad que las anteriores, pues permite distinguir entre cambios en la teoría y cambios de teoría (Giere 1988).

El principal interés epistemológico de la noción de modelo se centra, para Lombardi, en que “un modelo en ciencias fácticas se manifiesta, no en tanto modelo *de una teoría*, como lo conciben las descripciones sintáctica y semánticas, sino en tanto modelo *de un sistema real*” (Lombardi 2010). Los modelos son entidades abstractas que se comportan como afirma la teoría: no son por tanto verdaderos, sino similares al sistema real en ciertos aspectos. Es decir, los modelos son mediadores entre el sistema real y una teoría, pues son construcciones abstractas, que permiten el uso de una teoría científica para explicar un fenómeno natural mediante una conceptualización de tal fenómeno (Morgan & Morrison 1999). Los modelos tienen, según Morrison, una naturaleza híbrida: no son ni teoría ni realidad, sino instrumentos autónomos para la exploración de ambos dominios. Son tan necesarios para la explicación de los cambios teóricos, como para el desarrollo de la ciencia dentro de un paradigma establecido. Por un lado, guían la formulación de nuevas teorías, pues remplazan a los sistemas reales en tanto referentes directos de las teorías. Por otro, permiten explorar el mundo real cuando se los construye dentro de un marco teórico establecido para estudiar nuevos fenómenos, pues contienen un conocimiento específico o “local” acerca del sistema real que modela (Morrison 2005). Por esta razón no existe un único modelo de un sistema real, sino una multiplicidad de modelos que enfatiza, cada uno, un aspecto de la realidad.

7. Conclusión

Para dar cuenta de las regularidades fenoménicas, la práctica científica utiliza idealizaciones o modelos, que no pretenden ser una imagen pictórica de la realidad, sino que brindan cierta información sobre un aspecto específico de ella, muchas veces de ámbito local. Como los científicos estudian un mismo sistema físico con objetivos diversos, suelen utilizar simplificaciones distintas según el interés que los mueve. Cada modelo destaca aquellos aspectos del sistema que interesan especialmente considerar, dejando de lado otros que no resultan relevantes para una investigación concreta. Si bien en muchos casos es posible afinar los modelos añadiéndoles factores de corrección, los modelos más útiles suelen ser los más sencillos, las idealizaciones simples que focalizan la atención en el aspecto específico que es objeto de estudio. No existe un modelo que sea mejor que los otros de un modo absoluto, sino que se elige el modelo que resulta más adecuado para llevar adelante una investigación particular. El uso de modelos inconsistentes entre sí no es por tanto un grave problema para la práctica científica, pues suelen referir a aspectos complementarios de la realidad que describen. No queda debilitado entonces el estatuto epistemológico de la información que recibimos de ellos, siempre que se reconozca el carácter incompleto y aspectual de la información que los modelos brindan.

Las teorías científicas, en cambio, aspiran a explicar de un modo unificado un gran número de fenómenos, mediante generalizaciones del marco conceptual. Aunque el programa reduccionista buscó reducir todas las teorías a una única, considerada como fundamental, cada vez es más evidente que las relaciones interteóricas en la física no son un problema resuelto. Pero si se busca responder a los problemas de fundamentación de la física, muchos de ellos de naturaleza ontológica, es importante ahondar en esta cuestión. Un uso instrumentalista de los modelos científicos resulta admisible, pero la aspiración explicativa de las formulaciones teóricas exige una consistencia mayor. Los modelos y las teorías no se encuentran en un mismo nivel epistémico.

Bibliografía

- Bailer-Jones, D. (2009), *Scientific Models in the Philosophy of Science*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Batterman, R.W. (2001), *The Devil in the Details. Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction and Emergence*, Oxford: Oxford University Press.
- Braithwaite, R.B. (1953), *Scientific Explanation*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Bueno, O. y S. French (2011), "How Theories Represent", *British Journal for the Philosophy of Science* 62: 857-894.
- Cartwright, N. (1999), *The Dappled Word*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cartwright, N. y M. Jones (eds.) (1999), *Idealizations in Physics*, Amsterdam: Rodopi.
- Cassini, A. (2009), "¿Son necesarios los modelos para identificar las teorías? Una crítica de la concepción semántica", en Mortari, C.A. y L.H. De A. Dutra (ed.), *Anais do V Simposio Internacional Principia*, Col. Rumos da Epistemologia vol. 9, Florianópolis: NEL/UFC, pp. 23-37.
- Castagnino, M., Gadella, M. y O. Lombardi (2005), "Time's Arrow and Irreversibility in Time-asymmetric Quantum Mechanics", *International Studies in the Philosophy of Science* 19: 223-243.
- Castagnino, M., Laura, R. y O. Lombardi (2007). "A General Conceptual Framework for Decoherence in Closed and Open Systems", *Philosophy of Science* 74: 968-980.
- Da Costa, N.C.A. y S. French (2003), *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*, New York: Oxford University Press.
- Giere, R. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach*, Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. (2006), *Scientific Perspectivism*, Chicago: University of Chicago Press.
- Held, C. (2009), "When Does a Scientific Theory Describe Reality?", en Suárez, M. (ed.), *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, New York: Routledge, pp. 139-157.
- Jones, M. y N. Cartwright (eds.) (2005), *Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences*, Amsterdam: Rodopi.
- Klimovsky, G. (1994), *Las desventuras del conocimiento científico*, Buenos Aires: A-Z Editora.
- Knuuttila, T. (2005), "Models, Representation, and Mediation", *Philosophy of Science* 72: 1260-1271.
- Lombardi, O. (1998), "La noción de modelo en ciencias", *Educación en Ciencias* 2 (4): 5-13.
- Lombardi, O. (2002), "Determinism, Internalism and Objectivity", en Atmanspacher H. y R. Bishop (eds.), *Between Chance and Choice: Interdisciplinary Perspectives on Determinism*, Thorverton: Imprint-Academic, pp. 75-87.
- Lombardi, O. (2010), "Los modelos como mediadores entre teoría y realidad", en Galagovsky, L. (ed.), *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos*, Buenos Aires: Editorial Lugar, pp. 83-94.
- Morgan, M. y M. Morrison (1999), *Models as Mediators*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M. (2005), "Approximating the Real; the Role of Idealizations in Physical Theory", en Jones, M. y N. Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences*, Amsterdam: Rodopi, pp. 145-172.
- Morrison, M. (2011), "One Phenomenon, Many Models: Inconsistency and Complementarity", *Studies in History and Philosophy of Science* 42: 342-351.
- Nagel, E. (1961), *The Structure of Science*, New York: Hartcourt, Brace & World.
- Prigogine, I. (1980), *From Being to Becoming*, New York: Freeman.
- Rivadulla, A. (2004), *Éxito, Razón y Cambio en Física. Un enfoque instrumental en teoría de la ciencia*, Madrid: Trotta.
- Rivadulla, A. (2006), "The Role of Theoretical Models in the Methodology of Physics", en Magnani, L. (ed.), *Model-Based Reasoning in Science and Engineering*, London: College Publications, pp. 75-85.
- Rohrlich, F. (1990), "There is Good Physics in Theory Reduction", *Foundations of Physics* 20: 1399-1412.
- Sklar, L. (ed.) (2000), *Theory Reduction and Theory Change*, New York: Garland.
- Suárez, M. (ed.) (2009), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, New York: Routledge.

Suárez, M. (2010), "Scientific Representation", *Philosophy Compass* 5: 91-101.

Suppe, F. (1977), *The Structure of Scientific Theories*, Chicago: University of Illinois Press.

Suppe, F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, Chicago: University of Illinois Press.