

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XXII JORNADAS

VOLUMEN 18 (2012)

Luis Salvatico
Maximiliano Bozzoli
Luciana Presenti

Editores



ÁREA LÓGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Idealización, abstracción y proliferación de modelos

Alejandro Cassini*

1. La concepción representacionista de los modelos

La gran mayoría de los filósofos de la ciencia que se han ocupado de la naturaleza de los modelos científicos son representacionistas. Esto significa que el concepto de representación se concibe como el género, del cual los modelos son una especie. Esta idea la comparten Patrick Suppes, Bas Van Fraassen, Frederick Suppe, Ronald Giere, Margaret Morrison y muchos otros. Las razones parecen bastantes claras.

La concepción tradicional de las teorías, que las concibe como conjuntos lógicamente cerrados de proposiciones, permite naturalmente sostener que las teorías científicas son susceptibles de ser verdaderas o falsas, aunque de hecho nunca sepamos con certeza cuándo lo son. Los modelos, en cambio, como quiera que se los conciba, no son portadores de valores de verdad. La relación entre modelos y fenómenos se concibe generalmente como una representación. El gran problema para esta tradición es que la noción misma de representación ha resultado sumamente opaca y refractaria al análisis conceptual. En una palabra, no se dispone de ninguna definición completa y precisa del término representación, ni, mucho menos, de una teoría general de la representación científica (Suárez 2010 contiene un estado de la cuestión). Por esa razón, los diferentes filósofos representacionistas frecuentemente no coinciden en la manera de entender la representación.

La concepción representacionista de los modelos puede formularse de la manera más general posible en los siguientes términos: todos, o la mayor parte, de los modelos científicos contienen al menos un submodelo que tiene un carácter representativo. Esta definición admite que algunas partes de los modelos no sean representativas, por ejemplo, la superestructura puramente teórica, según la opinión de Van Fraassen (1989 y 2008).

Dentro de la concepción representacionista el concepto de modelo en las ciencias empíricas puede definirse así:

Un modelo es una representación idealizada de un determinado fenómeno o dominio de fenómenos que tiene la finalidad de permitir el acceso cognoscitivo a determinados fenómenos que o bien son poco conocidos o bien no resultan accesibles o tratables con los recursos del conocimiento vigente.

Esta definición, que tomo como puramente provisional y en modo alguno como completa o definitiva, sólo puede resultar iluminadora si se esclarecen, aunque sea parcialmente los principales conceptos que emplea, esto es, los de *representación*, *idealización* y *fenómeno*. Aquí sólo me ocuparé explícitamente de la noción de idealización y consideraré algunas de las dificultades que surgen de ella.

2. Idealización y abstracción

Todavía no existe en la filosofía de la ciencia un vocabulario unificado para elucidar la noción de idealización (un intento de hacerlo es Jones, 2005). Hay cuatro conceptos, sin embargo, que se emplean en casi todas las discusiones: son los de *simplificación*, *aproximación*, *abstracción* y *distorsión*. Aquí supondré que el sujeto del cual se predica la idealización son los

* CONICET - U.B.A., alepafra@ yahoo.com.ar

modelos de las ciencias empíricas. Hay amplio consenso en que los modelos científicos simplifican los fenómenos, con el fin de hacerlos tratables en algún aspecto. Ello presupone que, generalmente, los fenómenos son entidades complejas que no pueden conocerse, al menos en primera instancia, de manera completa en toda su complejidad. Cuando se trata de elucidar cómo se obtiene un modelo simplificado de un fenómeno complejo comienzan las discrepancias entre los expertos.

Con el fin de acotar nuestra discusión, fijaré la terminología de la siguiente manera. Todo modelo es una representación simplificada, en alguna medida, de los fenómenos. La simplificación admite grados, de manera que hay modelos más o menos simplificados que, en principio, pueden representar los mismos fenómenos. La simplificación se obtiene por medio de la abstracción y la distorsión de los fenómenos. Estas también admiten grados, de modo que todo modelo científico es una representación a la vez abstracta y distorsionada de los fenómenos. Además, consideraré que la abstracción y la distorsión son ambas necesarias para la construcción de un modelo, aunque el grado de abstracción y de distorsión puede variar mucho de un modelo a otro.

Entenderé por abstracción el hecho de dejar de lado o no tener en cuenta determinadas propiedades que creemos que pertenecen a los fenómenos modelados. Las propiedades que se abstraen no están representadas por ninguna variable o parámetro en el modelo. Por otra parte, entenderé por distorsión el hecho de introducir en el modelo variables o parámetros que representan propiedades que creemos que los fenómenos no tienen o que tienen en un grado o medida diferente del que está representado en el modelo. Un ejemplo sencillo puede aclarar estos usos. Supongamos que construimos un modelo de la trayectoria de un proyectil. En el modelo no tenemos en cuenta el color de los proyectiles, y, en tal sentido, hacemos abstracción de una propiedad que creemos que los proyectiles poseen. Por otra parte, en el modelo suponemos que todos los proyectiles tienen el mismo peso y tamaño, introduciendo una distorsión. Además, suponemos que la forma de todos los proyectiles es esférica, introduciendo otro tipo de distorsión. Tanto las propiedades que se abstraen como las que se distorsionan podrían ser relevantes para la construcción del modelo, pero hacemos la conjetura, siempre falible, de que no lo son.

El resultado del proceso de idealización es siempre una aproximación, esto es, un modelo que permite reproducir cierto grado de aproximación el comportamiento del fenómeno modelado. Dicho modelo es siempre incompleto, pero, en principio, es susceptible de ser completado. Si la aproximación que provee el modelo no resulta adecuada para los fines por los cuales se lo ha construido, es posible completarlo mediante la introducción de nuevas variables o parámetros y, en tal sentido, el modelo resulta, por así decir, “desidealizado”.

3. El problema de la brecha entre modelos y realidad

Todo modelo, por el mero hecho de ser una representación idealizada de los fenómenos constituye siempre una aproximación que es incompleta, abstracta y deliberadamente distorsionada. Parece haber, entonces, una barrera entre los modelos y la realidad que representan que impide ofrecer una interpretación realista de la modelización en ciencia. ¿Es posible sostener que los modelos proporcionan una descripción aproximadamente verdadera de los fenómenos? Este es el problema de la brecha entre modelos y realidad, que ha sido planteado de diferentes maneras por diversos autores, como Mc Mullin (1985) y, más

recientemente, Morrison (2005 y 2011). Si no fuera posible cerrar esa brecha, al parecer, deberíamos contentarnos con una interpretación puramente instrumentalista, o ficcionalista de los modelos, considerándolos como mero artefactos para la predicción de fenómenos desconocidos. De hecho, el ficcionalismo, cuyo antecedente es la obra largo tiempo olvidada de Vaihinger (1927), ha cobrado nueva vida a partir de su replanteo en términos de modelos (Suárez, 2009). Sucede que muchos modelos científicos parecen ser meras ficciones útiles, en el sentido de que no creemos que las entidades que postulan existan realmente, ni que los fenómenos tengan las propiedades que los modelos les atribuyen. Si se los toma literalmente, muchos modelos parecen proporcionar descripciones evidentemente falsas de los fenómenos. No obstante, resultan útiles para sacar inferencias correctas acerca de los fenómenos.

La proliferación de modelos destinados a representar un mismo dominio de fenómenos agrega una dificultad más a la interpretación realista. Hay muchos ejemplos, en particular en la física, pero no sólo en ella, de la multiplicación de modelos de un mismo fenómeno. Casi siempre, cada uno de ellos permite explicar o predecir un determinado aspecto de dicho fenómeno. Esto se relaciona con el hecho de que todo modelo tiene límites en su dominio de aplicación y, por tanto, no resulta exitoso, o siquiera posible, en todo contexto o circunstancia. Este hecho no plantea problemas acuciantes al realista siempre que los modelos sean compatibles entre sí.

La respuesta realista a este problema es que esta clase de modelos no deben concebirse como rivales, sino como complementarios. En todos los casos favorables, puede mostrarse que los modelos complementarios surgen de la desidealización de otro modelo previamente existente, pero más simple y limitado. Uno de los ejemplos más frecuentemente citados de esta situación es el del modelo del péndulo ideal, que puede ser sucesivamente desidealizado introduciendo variables para el rozamiento del peso con el aire, para el efecto de flotación de dicho peso en el aire, para la elasticidad de la barra, etc. Un realista como Mc Mullin sostendría que a medida que un modelo se hace más y más desidealizado, se vuelve también más realista, es decir, se aproxima más a una descripción verdadera de la realidad, que debe tomarse literalmente (Mc Mullin, 1985). Existen en la ciencia, sin duda, modelos que se relacionan de esta manera, por generalización o refinamiento sucesivo, pero esta no es la situación típica en todos los dominios o disciplinas. Frecuentemente encontramos modelos que no se pueden integrar entre sí, y esto constituye un desafío para la posición realista.

4. El problema de los modelos incompatibles

Un problema más difícil de resolver es el de la proliferación de modelos incompatibles entre sí, que se proponen para acceder a un mismo dominio de fenómenos. Llamo incompatibles a los modelos que postulan ontologías diferentes que no pueden ser conciliadas en un único modelo unificador. Ello ocurre cuando los modelos atribuyen a los fenómenos propiedades incompatibles. El ejemplo clásico lo constituyen los modelos corpuscular y ondulatorio de la luz, antes del surgimiento de la teoría cuántica. Otro caso más reciente es el de las concepciones relativista y cuántica de la fuerza de gravedad. El ejemplo contemporáneo más discutido lo proporcionan los modelos del núcleo atómico, que analizaré ahora con algún detalle.

Desde mediados de la década de 1930 se acepta que los núcleos atómicos están compuestos por nucleones, esto es, protones y neutrones, ligados entre sí por fuerzas

intranucleares, cuya naturaleza todavía no es bien comprendida. La estructura interna del núcleo no es observable ni medible por ningún medio. Sólo es posible medir propiedades globales del núcleo, como la masa, la carga y el *spin*. Lo mismo puede decirse de los nucleones considerados aisladamente. La disposición de los nucleones dentro del núcleo y sus movimientos tienen que postularse y hay, por supuesto, muchas posibilidades. Por otra parte, la interacción fuerte entre tres o más nucleones no puede calcularse por razones puramente matemáticas y tiene que ser tratada mediante aproximaciones.

Desde fines de la propia década de 1930 se advirtió que no era posible explicar los fenómenos nucleares conocidos, como la fusión de núcleos livianos o la fisión de núcleos pesados mediante un único modelo. Surgieron, entonces, dos modelos claramente incompatibles: el modelo de la gota líquida en la década de 1930 y el modelo de capas en la década de 1940. Ambos están basados en analogías con la constitución molecular de una gota de fluido y con la estructura electrónica de los átomos, respectivamente. Ambos son incompatibles porque, dicho de manera superficial, tratan al núcleo como si fuera líquido o como si fuera gaseoso, algo que no puede ocurrir de manera simultánea.

El modelo de la gota líquida considera que el núcleo es una esfera de fluido incompresible. Postula que todos los núcleos tienen aproximadamente la misma densidad másica y que sus energías de ligadura son aproximadamente proporcionales a sus masas. Los nucleones en el interior del núcleo se comportan, entonces, como las moléculas en una gota de líquido. Así, el movimiento de cada nucleón está correlacionado con el de sus nucleones vecinos. La estructura interna del núcleo consiste, según este modelo, en un centro de nucleones agrupados para los cuales la fuerza nuclear está completamente saturada y una capa superficial de nucleones menos ligados, esto es, donde la fuerza nuclear no está saturada. Es un modelo esencialmente clásico, donde las propiedades cuánticas de cada nucleón no se tienen en cuenta. Este modelo permite predecir correctamente las masas y las energías de ligadura de los núcleos y explicar los fenómenos de fisión de núcleos pesados.

El modelo de capas, en cambio, supone que los nucleones en el interior del núcleo se mueven unos independientemente de otros en un potencial nuclear neto. Es un modelo esencialmente cuántico, como lo es el modelo de capas de la estructura electrónica del átomo, donde se aplican leyes específicamente cuánticas, como el principio de exclusión de Pauli. De acuerdo con el modelo de capas, el núcleo no tiene un centro de nucleones, sino que éstos se distribuyen en capas alrededor de un potencial central que se supone que posee simetría esférica. Cada una de las capas corresponde a los estados cuánticos de la misma energía. Dado que los nucleones son fermiones, se les aplica el principio de exclusión, que prohíbe que dos nucleones ocupen el mismo estado cuántico. Sólo dos neutrones o dos protones (con *spins* antiparalelos) pueden ocupar un determinado nivel energético. Los nucleones, al igual que los electrones en el átomo, tienden a ocupar los estados de menor energía, es decir, las capas interiores, hasta que éstas se saturan. Cuanto mayor sea el número de nucleones, mayor será el número de capas del núcleo. Esta estructura explica los llamados "números mágicos", esto es, el hecho de que los núcleos con ciertos números pares de neutrones y/o de protones (2, 8, 20, 28, 50, 82) sean mucho más estables que otros núcleos con diferente composición. Ello se debe a que en esos núcleos existe el número exacto de nucleones como para llenar un número determinado de capas, sin dejar ninguna sin saturar.

Tanto el modelo nuclear de la gota líquida como el modelo de capas tienen un ámbito limitado de aplicación, es decir, permiten explicar ciertas propiedades conocidas de los

núcleos atómicos, pero no otras. Ello condujo al surgimiento de muchos otros modelos, como el modelo de gas de Fermi o el modelo colectivo, que pudieran explicar otros fenómenos nucleares. Se produjo así una proliferación de modelos, donde se han distinguido hasta 34 modelos nucleares diferentes, agrupados en familias, por ejemplo, modelos colectivos, modelos de partículas independientes y modelos de conglomerados (Cook, 2006, Cap. 4). Pese a este número insólito de modelos, hay numerosos fenómenos conocidos experimentalmente que ninguno de ellos consigue explicar y muchas preguntas acerca del comportamiento de los nucleones que ninguno puede responder. Por ejemplo, ninguno de ellos puede explicar satisfactoriamente la forma y el tamaño de todos los nucleones conocidos. Los modelos del núcleo atómico son individual y colectivamente incompletos.

La única respuesta posible para el realista ante la proliferación de modelos incompatibles es considerar que esta situación se debe a la falta de conocimiento de los fenómenos. Es, por tanto, una situación transitoria. Es de esperar, que a medida que aumente nuestro conocimiento de un dominio de fenómenos los modelos incompatibles desaparezcan o se unifiquen progresivamente hasta que, finalmente, sean superados por un modelo unificador que retenga todas las virtudes de cada uno y evite todo sus defectos. Esto es, que retenga todos sus éxitos empíricos y, además, permite explicar todos los fenómenos que no podían ser explicados por cada modelo. Esto, por cierto, no es más que una apuesta por el futuro, como suele serlo el realismo epistemológico.

Resulta significativo que esa misma posición sea la que de una manera más o menos explícita aparece en muchos libros de texto de física. Casi todos reconocen que la proliferación de modelos se debe a la falta de conocimiento, incluso a la falta de una teoría adecuada de la fuerza nuclear fuerte (por ejemplo, Das & Ferbel, 2003, p. 53; Cook, 2006, pp. 7-8, y Martin, 2009, p. 235).

Una posición instrumentalista o ficcionalista acerca de los modelos no tiene problemas en acomodar la proliferación de modelos de un mismo fenómeno, sean estos complementarios o incompatibles. Dado que los modelos no tienen un carácter descriptivo, no deben interpretarse literalmente, como si afirmaran la existencia de entidades y propiedades desconocidas. Son instrumentos o ficciones útiles que nos permiten resolver diferentes clases de problemas. Y, evidentemente, como podría atestiguarlo un ingeniero o un cirujano, no hay inconveniente alguno en disponer de una pluralidad de instrumentos para intervenir en un mismo fenómeno, incluso para intentar resolver un mismo problema, siempre que no se los quiera utilizar simultáneamente.

5. La comprensión científica y los objetivos de la ciencia

La insatisfacción con la proliferación de modelos incompatibles de un mismo dominio de fenómenos proviene, sin dudas, de una concepción general acerca de los fines del conocimiento científico. Para quien se conforme con la mera predicción de los fenómenos, no habrá problema en principio, más allá de cuestiones prácticas. En cambio, para quien cree que la comprensión de los fenómenos, y no su mera predicción, es uno de los fines de la ciencia, entonces, la existencia de modelos incompatibles resultará insatisfactoria por razones teóricas y no meramente prácticas. Los modelos incompatibles no pueden interpretarse conjuntamente como descripciones de los fenómenos y, en tal sentido, no nos proporcionan una comprensión adecuada de ellos, esto es, una imagen unificada de cómo es su estructura subyacente.

Es indudable que la predicción y el control de los fenómenos es una de las finalidades de la ciencia moderna. También es cierto que este fin puede alcanzarse sin necesidad de disponer de una descripción unificada de los fenómenos ni de un conjunto de modelos compatibles de un mismo fenómeno. Hay que admitir, por tanto, que la ciencia persigue múltiples fines diferentes, y no parece razonable reducirlos a uno solo, o subordinarlos a una finalidad última, como la búsqueda de la verdad. También hay que reconocer que los diferentes fines son independientes entre sí y que, por tanto, es posible obtener la predicción y el control de los fenómenos sin poseer una comprensión satisfactoria de ellos.

No obstante, dejando de lado las cuestiones prácticas, e independientemente de la posición que se adopte respecto del realismo, creo que efectivamente la situación de la física nuclear resulta teóricamente insatisfactoria. Ante todo, existe una teoría de base de la fuerza nuclear fuerte, la cromodinámica cuántica, que proviene de la física de partículas elementales, pero esta teoría no permite calcular la intensidad de las fuerzas en el núcleo, ni predecir su estructura interna. Es un problema de intratabilidad matemática, ya que rápidamente se plantea una cuestión de muchos cuerpos que no admite solución, ni siquiera aproximada. Tampoco existe en la física nuclear un modelo *standard* que sea capaz de acomodar todos, o la mayoría, de los fenómenos conocidos acerca del comportamiento del núcleo, ni mucho menos que permita predecir fenómenos nuevos. La proliferación de modelos incompatibles se produjo generalmente *post factum*, después que se descubrieron regularidades fenomenológicas acerca de los núcleos atómicos que no tenían explicación ni podían acomodarse mediante los modelos entonces conocidos. Los diferentes modelos del núcleo atómico no son modelos rivales, como los diferentes modelos cosmológicos del *Big Bang*, sino modelos, que pese a ser incompatibles se emplean simultáneamente para explicar y predecir diferentes fenómenos acerca del núcleo, o incluso diferentes aspectos de un mismo fenómeno.

La dificultad teórica a la que me refiero es que estos modelos no pueden comprenderse mediante una teoría de base o un único esquema conceptual. Algunos modelos son clásicos, por ejemplo, mientras que otros son cuánticos, o combinan aspectos clásicos y cuánticos. No son en ningún sentido especializaciones de una teoría general ya que simplemente no hay una teoría general del núcleo atómico. La falta de un esquema conceptual y teórico unificado en el cual insertar estos modelos constituye, en mi opinión, un obstáculo para la comprensión de los diferentes modelos ya que, entre otras cosas, no podemos decir cómo se relacionan entre sí. Esta situación no se presenta en la cosmología relativista clásica o en la física de partículas elementales, donde hay un modelo *standard* aceptado.

En la multiplicidad de fines que persigue la ciencia parece haber lugar para la justificación de modelos incompatibles de un mismo fenómeno, en tanto cada uno tenga algún grado de éxito predictivo en su respectivo dominio de aplicación. Pero conviene distinguir entre fines maximales y minimales. La adecuación empírica y la capacidad de predicción de los fenómenos son, en mi opinión, fines minimales del conocimiento científico. Constituyen una condición necesaria para la aceptación de un modelo o teoría científica, pero no resultan suficientes para obtener la comprensión de los fenómenos. La posesión de una teoría unificada de todos los fenómenos de un dominio determinado es un fin maximal. La proliferación de modelos incompatibles satisface los dos primeros, pero no el tercero de los fines. En tanto nos interese la comprensión teórica de los fenómenos, la

existencia de modelos o teorías incompatibles será considerada como un problema más que como un logro y como una situación transitoria más que permanente de la ciencia.

Bibliografía

- COOK, N. D. *Models of the atomic nucleus*. Berlin: Springer, 2006.
- DAS, A. & FERBEL, T. *Introduction to nuclear and particle physics*. Second edition, Singapore: World Scientific, 2003.
- JONES, M. R. Idealization and abstraction: A framework". Pp. 173-217, en: JONES, M. R. & CARTWRIGHT, N. (eds.) 2005.
- JONES, M. R. & CARTWRIGHT, N. (eds.) *Idealization XII: Correcting the model. Idealization and abstraction in the sciences*. Amsterdam-New York: Rodopi, 2005.
- MARTIN, B. R. *Nuclear and particle physics*. Second edition, Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
- MC MULLIN, E. Galilean idealization. *Studies in History and Philosophy of Science* 16: 247-273, 1985.
- MORRISON, M. Approximating the real: The role of idealization in physical theory. pp. 145-172, en: JONES, M. R. y CARTWRIGHT, N. (eds.) 2005.
- MORRISON, M. One phenomenon, many models: Inconsistency and complementarity. *Studies in History and Philosophy of Science* 42: 342-351, 2011.
- SUÁREZ, M. (ed.) *Fictions in science: Philosophical essays on modeling and idealization*. London: Routledge, 2009.
- SUÁREZ, M. Scientific representation. *Philosophy Compass* 5: 91-101, 2010.
- VAIHINGER, H. *Die Philosophie des Als Op*. 10a ed., Leipzig: Felix Meiner, 1927.
- VAN FRAASSEN, B. C. *Laws and symmetry*. Oxford: Clarendon Press, 1989.
- VAN FRAASSEN, B. C. *Scientific representation: Paradoxes of perspective*. Oxford: Clarendon Press, 2008.