

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XXII JORNADAS

VOLUMEN 18 (2012)

Luis Salvatico  
Maximiliano Bozzoli  
Luciana Pesenti  
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



## Acerca del significado de las aproximaciones en ciencias

*Olimpia Lombardi\* y Nicolás Pflaum<sup>◊</sup>*

### 1.- Introducción

Desde el “sentido común epistemológico” se suele creer que la ciencia es un espejo de la naturaleza. Se supone que nuestras mejores teorías científicas nos proveen de una representación exacta y precisa, libre de distorsiones, de la realidad o, al menos, que en algún momento lo harán. Esta imagen de la ciencia es completamente falsa. Ni siquiera quienes adhieren a posiciones realistas extremas sostendrían que el conocimiento científico es un espejo de la realidad. Las teorías científicas siempre se vinculan con la realidad a través de modelos. Con ello, en general la ciencia se sirve de aproximaciones que, si bien no permiten reflejar la realidad tal cual es, nos sirven para lograr una mayor comprensión acerca de su comportamiento.

En las disciplinas matematizadas, la utilización de aproximaciones constituye una práctica totalmente usual. La idea de aproximación incluye técnicas muy variadas, basadas, por ejemplo, en considerar despreciable algún factor que interviene en el comportamiento del sistema, introducir un grano grueso en la descripción dinámica, o efectuar el límite matemático para un cierto parámetro adimensional tendiendo a cero. Dichas aproximaciones son utilizadas tanto en el marco de una única teoría, como al pasar de una teoría a otra. El objetivo de este trabajo es reflexionar acerca de la diferencia entre esos dos tipos de aproximaciones. Es esta diferencia la que nos permitirá argumentar que, contrariamente a una opinión generalizada, es posible interpretar que las aproximaciones no siempre conducen a descripciones menos precisas y ajustadas respecto de la supuestamente “verdadera”, aunque desconocida, descripción.

### 2.- Modelos y aproximaciones

En su artículo “Galileo's pendulum and the objects of science”, Michael Matthews (1987) relata un episodio histórico acerca de formulación de la isocronía del péndulo. Si bien Galileo consideraba su “descubrimiento” como esencial para el conjunto de su nueva física, la isocronía del péndulo fue vigorosamente resistida por Guidobaldo del Monte, protector del propio Galileo y uno de los mayores expertos en mecánica del siglo XVII. Del Monte insistía en que los péndulos, en realidad, no son isócronos: los más livianos y los más pesados no tienen el mismo período, como así tampoco los de diferente longitud; además, todos los péndulos terminan por detenerse luego de un número suficiente de oscilaciones. Galileo replicó que tales resultados se referían únicamente a péndulos reales, pero que si se estudiaban los péndulos ideales, donde la fricción, la resistencia del aire y el peso de la cuerda no existen, entonces ciertamente se encontraría que son isócronos. Tal argumento nunca fue aceptado por Del Monte, convencido de que la física debía versar sobre el mundo real y no sobre un supuesto mundo ideal sin resistencias ni rozamientos.

El sistema real al cual la teoría supuestamente refiere siempre involucra una enorme cantidad de factores, de modo tal que resulta demasiado complejo para su tratamiento pormenorizado, e incluso en algunos casos se torna imposible en la práctica determinar las

\* CONICET – UBA, [olimpiafilo@arnet.com.ar](mailto:olimpiafilo@arnet.com.ar)

◊ UBA, [pflaumnicolas@gmail.com](mailto:pflaumnicolas@gmail.com)

características de los elementos que lo constituyen. Además, muchos factores suelen ser irrelevantes a la luz de las hipótesis de partida adoptadas, por lo cual pueden ignorarse en el tratamiento del sistema real sobre la base de la teoría en cuestión. Por estos motivos, los científicos trabajan con sistemas simplificados e idealizados, que no son más que entidades abstractas en las cuales se consideran como variables sólo los factores relevantes en el sentido indicado, o se suponen ciertas características de los objetos inobservables que componen el sistema. Tales sistemas abstractos son los que suelen denominarse ‘modelos’ del sistema real, por ejemplo, modelo físico o modelo biológico en el caso de corresponder a un sistema físico o a un sistema biológico respectivamente (Lombardi 1998). Así, pues, se “construye” el modelo de un péndulo observable como un péndulo sin rozamiento y con hilo inextensible, o el modelo de un gas empírico como un conjunto de esferas macizas que interaccionan de acuerdo con las leyes del choque elástico.

Esta elucidación del concepto de modelo en ciencias fácticas pone de manifiesto que una teoría científica tendrá como referente directo, no al sistema cuyo comportamiento pretende describir, sino a un modelo de tal sistema. En otras palabras, los modelos siempre operan como mediadores entre teoría y realidad (Morrison y Morgan 1999). Pero aun cuando la teoría responda correctamente al modelo, su adecuación para ser aplicada al sistema real bajo estudio se evaluará en función de que los resultados deducidos para el modelo se aproximen, dentro de un margen de error considerado aceptable, a los resultados obtenidos empíricamente en el sistema real. Si tal es la situación, se considerará, no sólo que la teoría, en términos popperianos, ha quedado corroborada, sino además que el modelo ha resultado adecuado para describir el fenómeno de interés en el sistema real considerado.

En la construcción del objeto abstracto que constituye un modelo de un sistema real para una teoría científica intervienen diversas operaciones que convierten el modelo en una aproximación del sistema real al que modeliza (Lombardi 2010). Por ejemplo:

- Recorte del sistema: se ignoran ciertos factores que intervienen en el sistema real debido a que se los considera irrelevantes a la luz de la teoría, por ejemplo, el color de un cuerpo respecto de su movimiento descrito por la mecánica clásica.
- Simplificación del sistema: se ignoran ciertos factores que intervienen en el sistema real debido a que su incidencia se considera despreciable frente a la de otros factores en la ocurrencia del fenómeno bajo estudio, por ejemplo, el efecto del rozamiento en el movimiento de un objeto sobre un carril de aire. Tanto esta operación como la anterior limitan el número de las variables que intervienen en el modelo, así como de las relaciones establecidas entre ellas.
- Identificación por caso límite: se asimilan fenómenos en principio diferentes sobre la base de concebir uno de ellos como “caso límite” del otro, ejemplo de este caso es el recurso de Galileo de identificar el movimiento de caída libre de una bola con su movimiento de caída al rodar por un plano inclinado, para el caso límite de una inclinación del plano de  $90^\circ$ .

Sobre esta base es fácil advertir que la diferencia principal entre la descripción de Galileo y la de Guidobaldo del Monte reside en el hecho de que Galileo despreciaba factores que no consideraba relevantes para dar cuenta del fenómeno que pretendía explicar. Una masa puntual, un hilo inextensible, la falta de rozamiento, son todos resultados de

“aproximaciones” necesarias para llegar a la conclusión de Galileo. Ahora bien, si se pretende brindar una descripción más ajustada de la situación real, donde el péndulo acaba deteniéndose, el modelo de Galileo deberá complejizarse, reintroduciendo los factores que originalmente fueron dejados de lado. De este modo, se obtiene una descripción más precisa del sistema real cuyo comportamiento se pretende describir.

Tomemos el siguiente ejemplo: un futbolista patea una pelota. La descripción más sencilla que podríamos brindar de este evento consistiría en concebirlo como un tiro oblicuo, donde la pelota se considera una masa puntual sometida a una única fuerza debida al pie del jugador. Supongamos que nuestro modelo predice que el balón caerá a una distancia de 20 metros pasando por encima del arco; sin embargo, el futbolista patea y convierte el gol. Nuestra primera estrategia será asumir que en nuestro modelo hemos despreciado algún factor que en realidad sí era relevante, por ejemplo, la fuerza de rozamiento que ejerce el viento en sentido contrario a la trayectoria de la pelota. Siendo así, proponemos otro modelo que describa la situación con mayor precisión en la medida en que toma en cuenta el modo en que el viento afecta el comportamiento de la pelota. De este modo, la nueva descripción sí da cuenta del gol.

Supongamos ahora que el jugador realiza un tiro desde el corner. Nuestro modelo de partícula puntual predice que la pelota dará en el travesaño, sin embargo, el jugador patea y convierte un gol olímpico. Nuevamente, concluimos que nuestro modelo resulta inadecuado y procedemos a complejizarlo: la pelota ya no se modeliza como una masa puntual, sino como un cuerpo rígido que, sometido durante un cierto tiempo a una fuerza no colineal con su centro de masa, experimenta una rotación que le permite describir una trayectoria curva y acabar dentro del arco.

En definitiva, efectuar una aproximación, en general, es despreciar cierto factor que se considera irrelevante para el caso a estudiar. Por lo tanto, el modelo que resulta de introducir una aproximación se considera menos preciso que aquél donde tal aproximación no se incluye. En este sentido, puede decirse que ciertos modelos brindan representaciones más precisas que otros del sistema real que se pretende describir mediante una cierta teoría. La pregunta es si siempre es así.

### 3.- Aproximación e idealización

En su reciente artículo “Approximation and idealization: why the difference matters”, John Norton (2012) propone tomar en cuenta una diferencia que resulta muy usual en el discurso de la ciencia, en particular, de las disciplinas más matematizadas. Distingue, así, entre:

- Aproximación: una descripción inexacta del sistema de interés.
- Idealización: un sistema real o ficticio, diferente del sistema de interés, tal que algunas de sus propiedades suministran una descripción inexacta de algunos aspectos del sistema de interés.

Estas caracterizaciones de ambas nociones no establecen qué tan inexacta puede resultar una descripción antes de dejar de ser admitida como una aproximación o como resultado de una idealización. De hecho, no existe un criterio único aplicable a todos los casos: en ciertos contextos, un desajuste del 10% puede considerarse una buena aproximación, mientras que en otros casos el mismo porcentaje puede resultar un error inaceptable. La caracterización de

idealización tampoco especifica qué propiedades del sistema idealizado se considerarán, ya que ello depende de la aplicación de interés. En diferentes aplicaciones, un mismo sistema puede operar o no como una idealización según qué propiedades se consideren.

Sobre la base de esta distinción, puede decirse que las diferentes descripciones de la pelota de fútbol consideradas en el apartado anterior son aproximaciones, de diferente precisión, de situaciones en un partido real. En cuanto al caso de idealización, tal vez el caso típico es el llamado “límite termodinámico” que suele utilizarse en mecánica estadística: se estudia un sistema ideal en el cual tanto el número  $n$  de componentes como el volumen  $V$  se hacen infinitos, si bien la relación  $n/V$  se mantiene constante e igual a la del sistema real bajo estudio. La utilización de esta idealización responde al hecho de que sólo los sistemas infinitos manifiestan transiciones de fase bien definidas. Por ello, en gran medida el formalismo en termodinámica estadística se refiere a estados de sistemas infinitos. Lo que hace que la idealización del límite termodinámico sea admisible es el supuesto de que el sistema infinito suministra una descripción adecuada del sistema grande pero finito bajo estudio.

Queda claro que el sistema infinito puede considerarse una idealización del sistema finito bajo estudio cuando ambos concuerdan en la descripción de la propiedad de interés. No obstante, se sabe que los sistemas infinitos suelen exhibir propiedades muy diferentes de las de los sistemas finitos correspondientes. Por ejemplo, en un sistema de infinitas partículas regidas por la mecánica clásica, e incluso por la relatividad especial, las partículas pueden interactuar de modo tal de conducir a violaciones del determinismo y de la conservación de energía y momento (ver, por ejemplo, Laraudogoitia 2011). Por lo tanto, las idealizaciones que involucran límites infinitos, como el límite termodinámico, deben utilizarse con prudencia, ya que no puede asumirse de antemano que las propiedades de un sistema finito en el límite coincidirán con las propiedades del sistema infinito. Cuando esto no sucede, es necesario restringir la utilización de la idealización a los casos en los que la discordancia “patológica” no se manifieste.

Como puede comprobarse, tanto en el caso de aproximación como en el de idealización, se considera que se brinda una descripción inexacta del sistema real bajo estudio. Esto implícitamente supone, a su vez, la existencia, al menos ideal, de una descripción exacta de dicho sistema, respecto de la cual aproximación e idealización resultan en cierto sentido deficientes. A continuación, consideraremos si en todos los casos en que se habla de aproximación cabe interpretar que nos encontramos ante una descripción inexacta o imprecisa del sistema de interés.

#### 4.- Mecánica clásica y relatividad especial

Supongamos un juego de billar en el que queremos describir el choque de dos bolas de igual masa. Según la descripción clásica, se cumple que.

$$p_{1i} + p_{2i} = p_{1f} + p_{2f}$$

donde los subíndices 1 y 2 se refieren a las bolas 1 y 2 respectivamente, los subíndices  $i$  y  $f$  se refieren a las situaciones inicial y final, y en todos los casos el momento se calcula como el producto entre la masa y la velocidad. En este caso, la masa es una propiedad intrínseca e invariante de las bolas, en particular,  $m_1 = m_2$ .

Si bien por completo suficiente a todos los fines prácticos, alguien podría argumentar que la descripción clásica es sólo una aproximación (o eventualmente, resulta de una idealización), ya que hace tender a cero el parámetro adimensional  $\beta=(v/c)^2$ , donde  $v$  es la velocidad del cuerpo considerado y  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío. Si incluyéramos esta consideración, entonces la descripción correcta debería considerar que la masa varía con la velocidad del siguiente modo:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta}}$$

donde  $m_0$  es la masa en reposo. Se supone, entonces, que la mecánica clásica es sólo una aproximación de la relatividad especial puesto que “surge” de ésta al hacer tender a cero el parámetro  $\beta$ . En otras palabras, la relatividad especial es concebida como la “verdadera” descripción de la realidad, mientras que la mecánica clásica es considerada como una descripción meramente aproximada, aplicable únicamente cuando los cuerpos se mueven a velocidades muy inferiores a la de la luz, y de la cual podríamos, en principio, prescindir. La ontología “real” es relativista; la ontología clásica es, en realidad, una mera apariencia sólo admisible bajo condiciones muy específicas.

Desde esta perspectiva, esta situación constituye un caso de aproximación análogo al caso futbolístico de la Sección 2: en ambos casos se trata de una descripción inexacta que resulta de no tomar en cuenta un cierto aspecto del sistema real. Inversamente, si el aspecto dejado de lado en la aproximación es tomado en cuenta, se recobra una descripción más precisa del mismo sistema. Sin embargo, ¿nos enfrentamos en ambos casos a descripciones más precisas de “lo mismo”? En otras palabras, ¿son ambos ejemplos análogos? ¿Nos encontramos en la misma situación cuando incluimos la fuerza del aire o cuando modelamos la pelota como un cuerpo rígido en la descripción futbolística clásica, que cuando consideramos que  $\beta=(v/c)^2$  es distinto de 0 en la descripción del billar relativista?

En el primer caso, la discordancia en la predicción obtenida por medio de un modelo más sencillo nos obligó a construir un nuevo modelo, pero esto se efectuó en el contexto de un mismo marco teórico. Recuérdese que en el caso futbolístico las sucesivas descripciones estaban formuladas mediante la mecánica clásica: se trataba de descripciones aproximadas de una situación propia de la ontología mecánico-clásica. Esa es una ontología donde existen el espacio y el tiempo, “habitada” por cuerpos que chocan y se deforman en mayor o menor medida, cuerpos que orbitan unos respecto de otros, materiales que pueden transmitir ondas transversales, fluidos donde pueden producirse ondas longitudinales, etc., pero donde no existen ni las ondas electromagnéticas, ni la temperatura, ni los cuantos de energía. Por lo tanto, respecto de los modelos formulados para dar cuenta de la situación futbolística, podemos afirmar que nos encontramos ante descripciones diferentes de lo mismo, es decir, del mismo sistema mecánico-clásico real, descrito con distintos grados de precisión.

En el caso del billar la situación es diferente, pues las dos descripciones no se formulan mediante el mismo marco teórico: cuando la masa es invariante nos encontramos en el marco mecánico-clásico, cuando la masa varía con la velocidad, la descripción es relativista. Y si bien ambas teorías pueden vincularse mediante un límite matemático, en la operación de paso al límite desaparece el parámetro característico  $\beta$ , definido como cociente entre variables de igual dimensión: en el mundo de la mecánica clásica, la velocidad de la luz  $c$  ya

no existe como constante universal que fija el límite máximo de velocidad para los cuerpos. Pero en la relación interteórica no sólo ocurre esta “desaparición”: al pasar de la relatividad especial a la mecánica clásica también desaparecen ciertas entidades, como el espacio-tiempo, y ciertas relaciones, como la simultaneidad relativa al sistema de referencia, entidades y relaciones que resultan totalmente ajenas a la ontología de la mecánica clásica (para una discusión pormenorizada, véase Lombardi y Pérez Ransanz 2012). Si esto es así, ¿en qué sentido puede afirmarse que la descripción clásica es una “aproximación” respecto de la descripción relativista, en el sentido en que ambas describen lo mismo pero con diferente grado de precisión?

## 5.- Conclusiones

Sobre la base de la consideración de distintos casos usualmente subsumidos bajo el término ‘aproximación’, hemos señalado que no todos los casos son análogos puesto que hay diferencias cualitativas entre unos y otros. En particular, distinguimos dos tipos relevantes: cuando la aproximación se efectúa en el contexto de un mismo marco teórico y cuando la aproximación conduce a un cambio de teoría. El primer caso, son los modelos los que muestran sus limitaciones; por ello, podemos mejorarlos removiendo las aproximaciones efectuadas (por ejemplo, incluyendo factores originalmente dejados de lado) y obtendremos una nueva descripción de la misma situación real. En el segundo caso, en cambio, no son los modelos los que muestran limitaciones, sino la teoría: la inclusión de los factores originalmente no considerados conduce a un salto teórico. Por lo tanto, el supuesto de que nos encontramos o no ante una descripción más aproximada de lo mismo implica una toma de posición. Una perspectiva de corte realista en general tenderá a pensar que, a pesar del salto teórico, una de las descripciones se ajusta mejor a la realidad en sí misma y, por tanto, la otra es una mera aproximación de aquélla, una forma menos precisa de describir lo mismo, al igual que en el caso intrateórico. Pero si renunciamos al compromiso realista, el salto teórico puede interpretarse en términos de una ruptura ontológica; en consecuencia, el cambio de teoría pierde su carácter de “aproximación”, y ya no puede pensarse como una descripción más precisa de “lo mismo”. En definitiva, no importa cuál de ambas posiciones filosóficas se adopte, debe reconocerse que ‘aproximación’ se dice de diferentes maneras.

## Bibliografía

- LOMBARDI, Olimpia. La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias II* (4): 5-13, 1998.
- LOMBARDI, Olimpia. Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. Pp. 83-94, en GALAGOVSKY, Lydia (coord.) *Didáctica de las Ciencias Naturales. El Caso de los Modelos Científicos*. Buenos Aires: Editorial Lugar, 2010.
- LOMBARDI, Olimpia; PÉREZ RANSANZ, Ana Rosa. *Los Múltiples Mundos de la Ciencia. Un Realismo Pluralista y su Aplicación a la Filosofía de la Física*. México: UNAM-Siglo XXI, 2012.
- MATTHEWS, Michael. Galileo's pendulum and the objects of science. Pp. 309-319, en ARNSTINE, Barbara & ARNSTINE, Donald (eds.), *Philosophy of Education*, Philosophy of Education Society, 1987.

- MORRISON, Margaret; MORGAN, Mary. Models as mediating instruments. Pp. 10-37, en MORGAN, Mary & MORRISON, Margaret (eds.). *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- NORTON, John. Approximation and idealization: why the difference matters. *Philosophy of Science* **79** (2): 207-232, 2012.
- PÉREZ LARAUDOGOTIA, Jon. Supertasks. en ZALTA, Edward (ed.) *Supertasks Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford: Stanford University, 2011. (<http://plato.stanford.edu/archives/spr2011/entries/spacetime-supertasks/>).