Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 1, 1308 (2012)
www.sbfisica.org.br

Sobre cómo el conocimiento científico intenta aproximarse a la realidad

(About how scientific knowledge tries to approximate to reality)

Joan Josep Solaz-Portolés[1]

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València, España
Recebido em 4/9/2010; Aceito em 9/6/2011; Publicado em 27/2/2012

A partir de la creencia errónea de que el conocimiento científico ofrece un cuadro detallado del mundo en que vivimos y muestra los caminos para adentrarnos en él, en este trabajo se analizan las estructuras y los procesos de la ciencia para permitir vislumbrar cómo se produce el acercamiento de la ciencia a la realidad. En concreto, se examinan teorías, conceptos, modelos y explicaciones científicas desde bases epistemológicas que se fundamentan en la historia de la ciencia. Se concluye que las construcciones teóricas de los científicos, que siempre son provisionales, les permiten aproximarse al mundo real y avanzar en sus programas de investigación, pero son independientes de la realidad y no la copian.
Palabras-clave: ciencia, teoría, modelo, realidad, epistemología.

This work starts from the wrong belief that scientific knowledge offers a detailed picture of the world in which we live and it shows the paths to immerse us in him. Next, structures and processes of science are analysed to allow perceiving how is produced the rapprochement of science to reality. Specifically, theories, concepts, models and scientific explanations are examined from epistemological bases that are founded in the history of science. It is concluded that the scientists' theoretical constructions are always provisional, and they allow approximation to the real world and to move forward in its research programs, but are independent of reality and do not copy it.
Keywords: science, theory, model, reality, epistemology.

1. Introducción

Desde mucho tiempo atrás los humanos se han preguntado qué es lo que se nos oculta detrás de la apariencia de las cosas, y se han esforzado en explicitar relaciones entre sus conocimientos y la percepción ordinaria del mundo. En la actualidad, vivimos en una sociedad que mira hacia la ciencia a la búsqueda de soluciones a los graves problemas con que se enfrenta la humanidad. Estamos viviendo la progresiva alineación de la ciudadanía respecto a las prácticas, ideas y métodos que emplean los científicos en sus investigaciones [1]. No es de extrañar que muchos ciudadanos queden deslumbrados por las implicaciones aparentes de las teorías y pierdan de vista que entre los ámbitos de la teoría y la realidad hay un espacio de incertidumbre complicado de superar [2].

Por otra parte, está ampliamente difundida una visión deformada de la ciencia que suele ser, entre otras cosas, dogmática, poco creativa, individualista, algorítmica y socialmente descontextualizada [3]. Muchas de estas mismas características erróneas de la ciencia las podemos encontrar incluso en los libros de texto de ciencias [4].

En este aspecto, llama particularmente la atención el artículo de Treagust, Chittlenorough y Mamiala [5] en el que se concluye que los estudiantes de secundaria piensan mayoritariamente que los modelos que elaboran los científicos son una copia exacta de la realidad. No debe resultar descabellado pensar que la imagen más socialmente aceptada de la ciencia comporte que sus conocimientos sean capaces de penetrar en el interior de la realidad física del mundo y que, bajo este supuesto, dichos conocimientos nos ofrezcan un mundo real visible y palpable. Esta imagen forma parte de la denominada concepción *realista* de la ciencia [6], según la cual la ciencia aspira a dar descripciones verdaderas de lo que realmente es el mundo, esto es, proporciona teorías verdaderas que representan correctamente la realidad física.

Sin embargo, algunos pensadores como Russell [7] ya criticaban duramente esta concepción realista de la ciencia. Para Russell, los datos experimentales sólo reflejan muy limitadamente la realidad y la ciencia no investiga propiamente el mundo físico real. Por el contrario, la ciencia construye un mundo teórico, funcional,

[1]E-mail: Joan.Solaz@uv.es.

Copyright by the Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

que aplica al mundo físico real. Con ello, al autor pone de manifiesto que la ciencia no suministra una descripción de la realidad, sino imágenes simbólicas de la realidad que se derivan de sus presupuestos teóricos.

El objetivo de este trabajo es intentar esclarecer las relaciones entre ciencia y realidad física a través de los elementos e instrumentos que utiliza el conocimiento científico en su desarrollo y de los análisis, normalmente basados en la historia de la ciencia, que diferentes epistemólogos hacen del modo en que la ciencia se elabora y avanza. De este modo, esperamos contribuir de manera modesta a dar una imagen más adecuada y humana del conocimiento científico, con sus correspondientes limitaciones en el acceso a la complejidad de lo real.

2. Elementos constituyentes del conocimiento científico

El conocimiento científico se compone de varios elementos: las teorías, con su cuerpo de leyes que guían la investigación; las constantes fundamentales; y las observaciones relevantes a la luz de dichas teorías [8]. Las teorías científicas son los constructos mediante los cuales la ciencia intenta representar el conocimiento científico, y hay tres concepciones principales de las teorías: la sintáctica, la estructural y la semántica [9] .

La concepción sintáctica toma como modelo las matemáticas y la lógica, considerando una teoría científica como un sistema formal que difiere de la matemáticas en que los conceptos no lógicos de la teoría científica provienen de una interpretación empírica. Según esta concepción, el significado de los conceptos siempre viene definido a partir de conceptos observacionales. La concepción estructural también considera a las teorías científicas como sistemas formales, aunque se diferencia de la anterior en que las estructuras formales no tienen por qué ser de la lógica matemática. Para la denominada concepción semántica, las teorías científicas están formadas por el conjunto de modelos y las hipótesis que relacionan los modelos con la realidad física. Para esta concepción, las hipótesis son entidades lingüísticas y, como tales, pueden ser verdaderas o falsas, en cambio los modelos no, a ellos sólo podemos asociarles un grado de similitud con los sistemas reales.

Las teorías científicas tratan de dar una imagen de la realidad y de establecer relaciones con las impresiones provenientes de nuestros sentidos. Así, según Einstein e Infeld [10] mediante las construcciones teóricas se intenta asir la realidad. Para ello, la ciencia empieza con la propuesta de conceptos fundamentales y, a partir de ellos, se intentan explicar sistemas y sucesos naturales. En el progreso de la ciencia se destruyen conceptos y se generan otros nuevos.

Seguidamente expondremos una metáfora, la *metáfora de la trama*, que ayuda a comprender qué son los conceptos y qué papel desempeñan en las teorías [8]. Un concepto científico es un nudo de una trama cuyos hilos son las proposiciones que forman la teoría. Su significado, por tanto, está íntimamente ligado por los hilos que confluyen al nudo y a los nudos a los que está ligado. A medida que se desarrolla una teoría, se conoce más acerca de los hilos que forman la trama y, por ende, se comprenden mejor los conceptos implicados. Los conceptos, las proposiciones y las observaciones son los elementos a partir de los cuales se construyen las teorías científicas.

Tanto la hipótesis como la teoría son proposiciones que tratan de explicar sucesos naturales. La hipótesis es el primer intento explicativo. La teoría ya ha pasado exitosamente, entre otras cosas, la contrastación empírica. Khun [11] establece las características de una buena teoría científica:

- Debe ser precisa: sus consecuencias deducibles deben estar de acuerdo con los resultados de experimentos y observaciones
- Debe ser coherente: tanto internamente, como con otras teorías ya aceptadas
- Debe ser amplia: sus consecuencias se han de extender más allá de observaciones o leyes particulares para las que en principio se destinó
- Debe ser simple: ordenar ideas que aisladas se mostrarían confusas
- Debe ser fecunda: generar nuevos resultados de investigación

Así pues, las teorías son los instrumentos que utiliza la ciencia para avanzar y tienen una doble vertiente: una explicativa y otra práctica. Por eso, las teorías son perecederas: en la historia de la ciencia podemos encontrar teorías que cedieron el paso a otras nuevas (flogisto, éter, etc.) [12].

También en la historia de la ciencia aparecen ejemplos en donde los científicos en vez de partir de datos procedentes de la observación y usarlos para confirmar o rechazar leyes propuestas o teorías, utilizan una teoría aceptada por la comunidad científica que guía su investigación y determina la manera de cómo tratar los fenómenos observados. La teoría determina el significado de los sucesos observados proporcionando al científico razones para comprender qué observaciones son relevantes para su investigación y qué otras plantean problemas. En este contexto, ciertos descubrimientos observacionales que pudieron ser contraejemplos, se convirtieron en problemas de investigación a resolver mediante la aplicación o el desarrollo de la teoría. Este tipo de investigación científica la denominó Kuhn [13] ciencia normal, para distinguirla de aquella otra que busca reemplazar una teoría aceptada por otra, a la que llamó ciencia revolucionaria.

3. Los modelos para acercarse a la realidad

Cuando los científicos desean apresar la realidad comienzan por idealizarla y elaborar un objeto modelo o modelo conceptual del sistema o fenómeno objeto de estudio. A continuación, dicho objeto modelo se inscribe dentro de un determinado esquema teórico: se convierte en un modelo teórico [14]. Hemos de tener presente que todo modelo teórico no capta más que una parte de las particularidades del sistema o fenómeno representado, y que si no concuerda con los datos experimentales, tendrán que modificarse las ideas teóricas que lo sustentan. Así pues, un modelo teórico no es más que una herramienta falible que utilizan los científicos, cuya aceptación depende exclusivamente de su éxito empírico y que actúa como mediador entre la teoría y la realidad [15].

Una de las virtualidades de los modelos es que se pueden describir con la ayuda de esquemas, diagramas e incluso, en ocasiones, con la ayuda de un análogo material. De este modo, nos permiten acercarnos a sistemas inaccesibles para nuestros sentidos, como por ejemplo electrones o galaxias [16]. No obstante, hemos de señalar que aunque esquemas, diagramas y análogos materiales pueden resultar de gran utilidad para entender ideas difíciles o para generar nuevas ideas, éstos no reemplazan al objeto modelo o modelo conceptual. Esto es, no pueden representar a los sistemas reales de una manera tan precisa y completa como los hace un conjunto de proposiciones de un modelo teórico y, además, no forman parte de las teorías [14].

Finalmente, ¿qué funciones cumplen los modelos en el avance de la ciencia?. En opinión de Gilbert y Osborne [17], esencialmente dos:

- Simplificar sistemas y fenómenos para concentrar la atención sobre las cuestiones más relevantes
- Estimular las investigaciones mediante una *visualización* de los sistemas y fenómenos

Por otra parte, estos autores ponen de relevancia la posición de los modelos como intermediarios entre la teoría y la realidad en el razonamiento científico. De acuerdo con Lakatos [18] el científico se concentra en la construcción de modelos dentro de su programa de investigación y, en ocasiones, se sustituyen los modelos no por desacuerdo con las observaciones experimentales, sino por dificultades teóricas para desarrollar su programa de investigación. Así, por ejemplo, Newton elaboró un modelo para el Sistema Solar con el Sol y un planeta como puntos fijos, y de él derivó su ley del inverso del cuadrado de la distancia. Sin embargo, este modelo contradecía su tercera ley de la dinámica, y lo acabó substituyendo por otro en donde Sol y planeta giraban alrededor de su centro de gravedad común. Como vemos, el cambio de modelo se debió a una dificultad teórica para desarrollar su programa de investigación.

4. Sobre las explicaciones científicas

La explicación científica es un concepto metodológico que trata de hacer comprensibles sistemas y fenómenos naturales y facilita el avance del conocimiento [19]. En el trabajo de González [20] se analiza la cuestión de las explicaciones científicas y el problema de su caracterización, y se destaca la opinión de dos autores E. Nagel y W.C. Salmon, que expondremos sucintamente. Para Nagel existe una conexión entre el *porqué* de los *hechos*, y la existencia de diversidad de explicaciones científicas. Este autor distingue cuatro tipos de explicaciones científicas. En cada una de ellos se asume que hay un *hecho* a explicar o *explicandum*, y que para responder al por qué hace falta un *explicans.* En el primer tipo o modelo deductivo se utiliza una argumentación donde el *explicandum* es consecuencia lógica de premisas explicativas. Así, cuando se explica un suceso particular, hace falta una ley universal en las premisas para deducir el *explicandum* y una serie de condiciones iniciales que especifiquen el caso. El segundo tipo son las explicaciones probabilísticas, en las que las premisas explicativas no implican formalmente el *explicandum*. Esto es, los argumentos que se presentan no parten de premisas que aseguren la verdad del *explicandum*, pero lo pueden hacer probable. El tercer tipo lo constituyen las explicaciones teleológicas o funcionales, en donde se fija un estado futuro en el que se justifica un determinado suceso. El cuarto tipo de explicaciones se denominan genéticas. Éstas reconstruyen una secuencia de sucesos por los cuales un sistema ha evolucionado en el tiempo.

Se ha de indicar que el primer tipo de explicación científica que propone Nagel está tomado del modelo nomológico-deductivo de Hempel, considerado como paradigma de explicación científica del empirismo lógico [9]. Según este modelo de explicación, no hay diferencias fundamentales entre explicación y predicción: la explicación de un fenómeno se lleva a cabo mediante la subsunción a leyes.

De Salmon se destacan varias cuestiones, aunque resulta relevante señalar que critica ferozmente las explicaciones teleológicas, ya que históricamente las ciencias físicas y biológicas han hecho progresos significativos al eliminarlas. Este autor ofrece tres visiones de la explicación científica: la epistémica, la modal y la óntica. Según la primera visión, la explicación científica debe cumplir dos condiciones: tiene que ser o un argumento deductivo válido o un argumento inductivo correcto, y debe contener una ley universal. La visión modal refleja que explicar significa mostrar que lo que sucede tenía que suceder a la vista de los hechos explicativos. La visión óntica considera que depende de nuestro estado de conocimiento lo que consideramos explicaciones correctas. Salmon sostiene que es un error pensar que hemos encontrado la única explicación correcta para un determinado suceso, como también lo es creer que hemos

hallado la única causa de un determinado efecto. Identificar una causa es muchas veces una situación similar a dar una explicación.

Para concluir este punto, una advertencia: no se puede identificar explicación teórica con extracción de leyes empíricas a partir de postulados teóricos mediante reglas lógicas, matemáticas y de correspondencia [21]. Es decir, las teorías no explican las leyes empíricas, simplemente nos dicen por qué las cosas observables obedecen dichas leyes. Así, por ejemplo, la teoría cinética de gases no nos explica la ley empírica de Boyle-Mariotte (relación entre la presión y el volumen de una cantidad de gas mantenida a temperatura constante). Dicha teoría explica por qué las moléculas gaseosas en las condiciones experimentales dadas se comportan de una determinada manera.

5. Acerca de la provisionalidad del conocimiento científico

Los científicos que investigan dentro del marco de una teoría aceptada deben aprender cómo funciona dicha teoría, esto es, tienen que conocer el conjunto de proposiciones paradigmáticas de dicha teoría y saber aplicarla a problemas concretos. Los científicos combinan la información que les ofrece el mundo externo y las teorías que asumen. Tengamos siempre presente que científicos diferentes pueden ver cosas diferentes aunque sea la misma cosa la que observen. Esto es lo que le pasó a Kepler y a Tycho Brahe en sus observaciones sobre el Sistema Solar. No es sino una consecuencia de que la observación depende del conocimiento, experiencia y creencias; a saber, está cargada de teoría [19]. En condiciones normales, el investigador no es un innovador sino un solucionador de acertijos, y los acertijos sobre los que se concentra son precisamente aquellos que piensa que pueden plantearse y resolverse en el seno de la teoría científica que prevalece en su momento [11].

No obstante, también puede descubrir anomalías y poner en tela de juicio teorías aceptadas. Actúan dos factores: por un lado, las teorías proporcionan una descripción de lo que se tiene que ver, a saber, permiten descubrir las anomalías; por otro lado, no es sólo la teoría la que determina el suceso, sino la teoría en conjunción con la realidad [8]. Cuando no encajan la teoría y la estructura real del suceso aparecen las anomalías, que pueden ser interpretadas mediante la teoría aceptada, o bien convertirse en anomalías que lleven al derrocamiento de la teoría y a su sustitución por otra, es decir, a una revolución científica. Se ha de advertir que, utilizando la *metáfora de la trama*, en el transcurso de una revolución científica los conceptos se transforman. Se eliminan hilos, otros se reorientan, y se introducen nuevos. El concepto puede conservar parte de sus características, porque se mantienen ciertos hilos, pero acaba modificando su significado. Pero en un cambio de teoría no sólo se cambia el significado de los conceptos, también cambian las observaciones empíricas asociadas. La razón hay que buscarla en que ambos, conceptos y datos observacionales, derivan su significado de su localización en la trama teórica.

Las nuevas teorías son aplicables al mundo físico en un grado que excede en muchos aspectos al de las teorías antiguas. La finalidad de la ciencia es establecer los límites de aplicabilidad de las teorías y desarrollarlas de tal modo que permitan la máxima aproximación posible a la realidad. Este punto de vista se denomina *realismo no representativo* [6]. Esta concepción asume que el mundo físico es independiente de nuestros conocimientos y las teorías hacen algo más que establecer relaciones entre enunciados observacionales. Interpreta que las teorías no describen entidades del mundo en la forma en que lo hace el lenguaje cotidiano. Por ello, no se pueden juzgar las teorías como descriptoras del mundo, ya que no tenemos acceso a la realidad independientemente de nuestras teorías de una manera que nos posibilite evaluar la precisión de las descripciones.

En relación a esta cuestión, queremos poner de manifiesto que pueden ocurrir situaciones controvertidas para una determinada teoría [8]. Señalaremos dos casos: en el primero, se plantea la circunstancia de no tener fundamentos adecuados para validar o refutar una determinada hipótesis; en el segundo, dos teorías de una misma área de conocimiento son aceptadas por dos grupos diferentes de comunidades científicas.

Hemos de recordar en este punto que la ciencia no es fruto de individuos particulares sino de comunidades científicas y que, consecuentemente, las teorías son, en realidad, productos sociales sujetos a cambios [22]. Además, como apunta Chalmers [23] sucede con cierta frecuencia que teorías científicas tienen su origen en el mundo social ajeno a la ciencia en sentido estricto. Este mismo autor nos proporciona un ejemplo extraído de las ciencias físicas. Se trata de la teoría cinética de los gases introducida por Maxwell en el siglo XIX. Este científico basó sus análisis de los movimientos aleatorios de las moléculas gaseosas en las técnicas estadísticas utilizadas por los teóricos sociales para explicar las regularidades en los índices de natalidad o de criminalidad.

6. A modo de conclusión

Los científicos utilizan las teorías como instrumentos para representar el cuerpo de conocimientos existentes en un determinado momento. En su afán de interpretar el mundo físico que les rodea y, dentro de sus programas de investigación, hacen uso de modelos, intermediarios entre la teoría y la realidad, que les permiten acercarse allá donde no alcanzan sus sentidos, pero no olvidemos que la realidad es independiente de sus teorías. Además, la explicación científica les ayuda en la comprensión y en el avance del conocimiento.

Por otra parte, todos estos procesos se llevan a cabo dentro del contexto cultural, social, económico y filosófico dominante que les puede influir de una manera determinante. De hecho, las teorías científicas deben obtener el beneplácito de la comunidad científica para ser definitivamente aceptadas. Las teorías se someten siempre a la contrastación empírica y, si aparecen anomalías, se procede a la revisión y/o substitución de las mismas. En definitiva, el científico acepta que sólo se puede aproximar a la realidad mediante sus construcciones teóricas, modelos teóricos, que le sirven de ayuda para llevar adelante su programa de investigación determinando dónde y cómo deben centrar su atención. Pero siempre ha de tener presente que dichas construcciones teóricas no describen la realidad como lo hace nuestro lenguaje cotidiano y, en consecuencia, no pueden ser juzgadas del mismo modo.

Decir, por último, que suscribimos plenamente la opinión expresada por Holton [24]: "Las aprensiones erróneas de quienes está fuera de la ciencia de cómo se obtienen ideas científicas o cómo se les somete a prueba, se encuentran en la base de muchas dificultades que encuentran los hombres de ciencia (...). La política científica en una democracia depende de factores a largo plazo, como el entendimiento popular de la ciencia como actividad cognoscitiva (...).". Afortunadamente, como señala Latour [25] "siempre hay unos pocos, formados o no científicamente, que abren las cajas negras de la ciencia para que los que se encuentran fuera puedan dar un vistazo. Llevan nombres distintos (historiadores de la ciencia, sociólogos, filósofos, profesores, etc.) y se les clasifica en la mayoría de las ocasiones con la etiqueta general de grupo *ciencia, tecnología y sociedad*".

Referencias

[1] A. Lafuente and A. Elena, Claves de Razón Práctica **67**, 48 (1996).

[2] D. Fernández, Claves de Razón Práctica **72**, 64, (1997).

[3] J.M. Campanario, A. Moya y J.C. Otero, Enseñanza de las Ciencias **19**, 45 (2001).

[4] J.J. Solaz-Portolés, Educación XX1 **13**, 65 (2010).

[5] D.F. Treagust, G. Chittleborough and T.L. Mamiela, International Journal of Science Education **24**, 357 (2002).

[6] A.F. Chalmers, *La Ciencia y Cómo se Elabora* (Siglo XXI, Madrid, 1990).

[7] B. Russell, *Análisis de la Materia* (Taurus, Madrid, 1976).

[8] H.I. Brown, *La Nueva Filosofía de la Ciencia* (Tecnos, Madrid, 1988).

[9] A. Estany, *La Fascinación por el Saber. Introducción a la Teoría del Conocimiento* (Crítica, Barcelona, 2001).

[10] A. Einstein y L. Infeld, *La Evolución de la Física* (Salvat, Barcelona, 1993).

[11] T.S. Kuhn, *La Tensión Esencial. Estudios Selectos sobre la Tradición y el Cambio en el Ámbito de la Ciencia* (FCE, México D.F.,1987).

[12] O. Ghirardi, *Hermenéutica del Saber* (Gredos, Madrid, 1979).

[13] T.S. Kuhn, *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (FCE, Madrid, 1987).

[14] M. Bunge, *Teoría y Realidad* (Ariel, Barcelona,1981).

[15] A. Rivadulla, Revista de Filosofía **31**, 189 (2006).

[16] G. Del Re, International Journal of Philosophy of Chemistry **6**, 5 (2000).

[17] J. Gilbert and R. Osborne, International Journal of Science Education **2**, 3 (1980).

[18] I. Lakatos, *La Metodología de los Programas de Investigación Científica* (Alianza, Madrid, 1989).

[19] N.R. Hanson, *Patrones de Descubrimiento. Observación y Explicación* (Alianza, Madrid, 1985).

[20] W. González, *Diversidad de la Explicación Científica* (Ariel, Barcelona, 2002).

[21] W. Sellars, *Ciencia, Percepción y Realidad* (Tecnos, Madrid, 1971).

[22] B. Barnes, *Sobre Ciencia* (Labor, Barcelona, 1987).

[23] A.F. Chalmers, *La Ciencia y Cómo se Elabora* (Siglo XXI, Madrid, 1990).

[24] G. Holton, *La Imaginación Científica* (FCE, México D.F., 1985).

[25] B. Latour, *Ciencia en Acción. Cómo Seguir a los Científicos a Través de la Sociedad* (Labor, Barcelona, 1992).