

## ACERCA DEL CONCEPTO DE INTERPRETACIÓN DE UNA TEORÍA CIENTÍFICA

Mariano Lastiri y Martín Narvaja\*

**RESUMEN:** En este artículo se presentan los lineamientos generales de una nueva perspectiva para comprender la noción de “interpretación” de una teoría científica. La tesis central es que la interpretación consiste en una determinada clase de articulación de la teoría a interpretar con aquellas que le ofrecen un marco matemático y conceptual y aquellas que dotan a sus términos de significado empírico. Como conclusión y en relación con el ejemplo histórico de la “re-interpretación” de la electrodinámica de Maxwell se extraen algunas de las condiciones que debería satisfacer una interpretación para ser “adecuada”. Finalmente, ofrecemos una perspectiva acerca de cómo las ideas desarrolladas serían aplicables al análisis de los problemas de interpretación de la mecánica cuántica.

**Palabras clave:** interpretación - teoría científica – electrodinámica - estructuralismo - mecánica cuántica

**ABSTRACT:** *On the concept of interpreting a scientific theory* This paper introduces an overview of a new perspective to understanding the notion of scientific theory "interpretation". The main thesis proposes that interpretation should consist of a certain kind of articulation between the theory to be interpreted and those theories providing a mathematical and conceptual framework as well as empirical meaning to their terms. In the conclusion –and in relation to the historical example of Maxwell's electrodynamics re-interpretation– the authors point at some of the conditions and interpretation should fulfill to be “adequate”. Lastly, the authors provide a perspective on how these ideas could be applied to analyze Quantum Mechanics interpretation problems.

**Key words:** interpretation – scientific theories – electrodynamics – structuralism – quantum mechanics.

### Introducción

En este ensayo nos proponemos elaborar una aproximación al concepto de “interpretación” aplicable al campo de las teorías científicas. Esto es, elucidar y exponer algunas de las condiciones necesarias para la interpretación de una teoría.

---

\* *Mariano Lastiri* es docente de filosofía en la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) y en la Universidad Nacional Tres de Febrero (UNTref).

\* *Martín Narvaja* es investigador de la Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL) y miembro del grupo de Fundamentos y Filosofía de la Física y de la Química de la Universidad de Buenos Aires (UBA). E-mail: martinnavaja@hotmail.com

Este artículo forma parte de la investigación Fundamentación de la Mecánica Cuántica y de su Relación con el Mundo Químico (2006-2007), subvencionada por UCEL. Los autores agradecen especialmente a Mario Castagnino y Olimpia Lombardi por sus consejos y permanente apoyo.

Mariano Lastiri y Martín Narvaja

Como es natural y ocurre con la gran mayoría de los conceptos que han sido utilizados en filosofía, el concepto de “interpretación” tiene un alcance mucho más amplio del que puede abarcarse consecuentemente en un escrito como el presente; no es nuestra intención negar los nexos existentes entre ésta y otras nociones como las de “comprensión”, “representación” o “concepción”. Tampoco lo es negar la posibilidad de extender cualquiera de los desarrollos aquí esbozados a campos diversos del científico, como el arte o la literatura. Sin embargo, resulta conveniente comenzar planteando la cuestión dentro de un horizonte más limitado. Siendo así, el ensayo será doblemente incompleto: respecto de la limitación del concepto y respecto de su área de aplicación. Incompletud necesaria y deseable en un escrito programático.

Nuestra hipótesis fundamental es que “interpretar” una teoría científica es, en esencia, ponerla en relación con otras teorías. En particular, sostendremos que la interpretación consiste en el establecimiento de un determinado tipo de relación entre teorías: la interpretada, y aquellas otras que le dan significado a sus términos y enunciados.

Con el objeto de precisar esta idea, comenzaremos por formular algunas conjeturas de carácter general acerca de las teorías científicas, sus cambios e interpretaciones; para ello emplearemos nociones provenientes de la concepción estructuralista de las teorías científicas. A continuación, presentaremos el ejemplo histórico del origen de la teoría electrodinámica de James C. Maxwell en el marco de la mecánica clásica de partículas, poniendo de manifiesto cómo, a partir de su desarrollo, surgieron diversos conflictos que fueron resueltos, en última instancia, mediante el abandono de dicha mecánica y su reemplazo por la relativista. Finalmente, concluiremos el ensayo señalando algunas perspectivas acerca de cómo las ideas desarrolladas en relación con el ejemplo mencionado podrían utilizarse para la elucidación de los problemas de interpretación de teorías científicas en general y, particularmente, de la mecánica cuántica.

## I- Significado e interpretación

La pregunta general por el sentido de las palabras, del significado de los signos del lenguaje, es muy antigua. Tanto, que fue ya analizada por Platón en el *Crátilo* y discutida por Aristóteles en su *De Anima*. En el presente apartado bosquejaremos algunas de las nociones fundamentales de la disciplina que se conoce como semántica filosófica<sup>1</sup>, deteniéndonos en la concepción de Frege y apuntando a cómo fue planteada, independientemente, en el contexto de la filosofía de la ciencia.

Tradicionalmente, la reflexión sobre el significado ha involucrado una explicación de la relación entre los signos lingüísticos y los objetos del mundo. El rechazo y cuestionamiento generalizado de la referencia es propio de la época contemporánea (Orlando, 1999, p.15), y puede vincularse a concepciones holistas del significado como las defendidas por Saussure (1945) y Quine (1984).

Los filósofos modernos, entre ellos Descartes y Locke, consideraron que la relación entre las palabras y los objetos estaba mediada por ciertas entidades mentales. Posteriormente, John Stuart Mill defendió la idea de que el significado de un nombre propio no es una idea, sino sencillamente el objeto mismo designado por tal nombre. Así, el significado de ‘Tennyson’ sería el propio poeta inglés: Tennyson. Y ‘Benito Feijoo’ no significaría otra cosa que ‘el autor de *Teatro Crítico Universal*’: Benito Feijoo. A fines del siglo XIX, Frege reintroduciría la existencia de una instancia intermedia: el sentido. El sentido de

un término se define como *el modo de presentación del objeto referido* y se asocia a un conjunto de descripciones definidas al que todo hablante competente tiene acceso. Volveremos sobre este punto.

Durante el siglo XX, numerosos filósofos rechazaron la propuesta fregeana. Entre ellos se cuentan Saul Kripke y Hilary Putnam. Para dar cuenta de la relación semántica entre palabras y objetos, estos filósofos apelan a la noción de causalidad. Existen actualmente tres versiones principales del enfoque semántico causal: la *histórica* (Kripke y Putnam, de acuerdo con la cual el referente de un nombre propio está constituido por su causa histórica), la *indicativa o informacional* (Dretske) y la *teleológica* (Millikan) (acerca de estas últimas, remitimos al lector a Orlando, 1999, Capítulos 2 y 3).

En este punto, el lector bien puede preguntarse ¿qué provecho puede obtenerse de la consideración de la semántica filosófica en el contexto de un artículo acerca de la noción de interpretación de las teorías científicas? La respuesta a esta pregunta es que, a través de la consideración de algunas perspectivas semánticas contemporáneas, en particular desde la cuestionada concepción “descriptivista” de la referencia dentro de la cual se inscriben autores como Frege y Russell, pueden elucidarse algunos de los problemas fundamentales acerca de cómo comprender el significado de los términos de las teorías científicas<sup>2</sup>.

Volvamos a Frege. En primer lugar, según la concepción fregeana, los nombres propios y generales (sustantivos comunes, como ‘caballo’ o ‘árbol’) poseen, además de una referencia (un individuo particular o una clase), un *sentido* que puede comprenderse en términos de descripciones que sirven para identificar dicha referencia. El ejemplo clásico utilizado por Frege para iluminar esta cuestión es el siguiente: el planeta Venus es conocido como ‘El lucero matutino’ y también como ‘El lucero vespertino’. Ahora bien, la referencia de ambas descripciones, el objeto al que refieren, es el planeta Venus, cuyo nombre es ‘Venus’. Si el significado de los términos viniera dado sólo por sus referentes, los significados de ‘Venus’, ‘El lucero matutino’ y ‘El lucero vespertino’ serían idénticos. Por lo tanto, enunciados como ‘Venus es el lucero vespertino’ o ‘El lucero vespertino es el lucero matutino’ resultarían trivialmente verdaderos, serían enunciados de la forma “*A es A*”. Pero éste no es el caso: perfectamente alguien podría ignorar la verdad de ‘Venus es el lucero matutino’ o de ‘el lucero matutino es el lucero vespertino’. Siendo así, es necesario incluir otro componente dentro del significado, además de la referencia: el sentido. Éste no debe ser confundido con la representación mental de un objeto. Así, “...la referencia de un nombre propio es el objeto mismo que designamos con él; la representación que tenemos entonces es totalmente subjetiva; entre ambas se halla el sentido, que ciertamente ya no es subjetivo, como la representación, pero, con todo, tampoco es el objeto mismo” (Frege, 1892, p.176). En segundo lugar, y en consecuencia, la teoría de Frege sostiene que el mecanismo por el cual un término refiere a un objeto involucra determinadas descripciones asociadas y todas estas descripciones contribuyen a determinar la referencia.

Dejando a un lado la muy interesante discusión acerca de las dificultades que presenta un desarrollo completo de las ideas de Frege<sup>3</sup>, de estas consideraciones podemos concluir, en primer lugar, que la cuestión del significado de los términos de un lenguaje excede la mera consideración de su referencia (entendiendo por referencia “el objeto o conjunto de objetos designado por el término”). Esto es así no sólo desde la perspectiva de Frege, sino también desde otras concepciones semánticas contemporáneas. En segundo lugar, que una concepción del significado como la de Frege contiene, al menos, dos componentes interdependientes: el sentido y la referencia.

Mariano Lastiri y Martín Narvaja

Al margen del desarrollo de la semántica filosófica, la cuestión de la interpretación de las teorías científicas en el ámbito epistemológico se desarrolló en torno a tres cuestiones relacionadas: el problema de los términos teóricos, la polémica entre realismo e instrumentalismo y la cuestión del reduccionismo. La primera cuestión aborda la posibilidad de eliminar los términos que refieren a entidades no directamente observables (como el campo electromagnético, los átomos o el espacio absoluto), para circunscribir las teorías a un lenguaje que sólo posea términos de un vocabulario básico privilegiado, cuyas referencias pertenecen a una base empírica de objetos directamente observables: un vocabulario observacional, o bien fisicalista o bien mentalista (Popper, 1980, Capítulo V). La segunda cuestión se refiere al papel que los términos teóricos desempeñan dentro de la ciencia: ¿son herramientas matemáticas o conceptuales sin referencia *real*, meras ficciones útiles, o designan entidades o conjuntos de entidades reales aunque no directamente observables? La tercera cuestión se pregunta por la posibilidad de negar peso ontológico a las entidades referidas por los términos de determinadas teorías mediante su referencia a ámbitos considerados como más fundamentales: por ejemplo, la reducción de las entidades del mundo biológico a las del mundo químico, o las de este último a las del mundo físico. Todas estas cuestiones fueron tradicionalmente discutidas dentro de la denominada “*Concepción Heredada*” de las teorías científicas.

De acuerdo con la reconstrucción ofrecida por Suppe (1979), la *Concepción Heredada*, cuyas versiones más sofisticadas fueron elaboradas por Carnap y Hempel, considera que las teorías científicas poseen una formulación canónica que satisface cinco condiciones:

- 1- La teoría se formula en un lenguaje L de primer orden.
- 2- Los términos de L se dividen en dos clases: una que contiene sólo términos que se refieren a entidades observables ( $V_o$ ) y otra que contiene sólo términos teóricos ( $V_t$ ).
- 3- El lenguaje L se divide en un lenguaje de observación  $L_o$  (que sólo posee términos de  $V_o$ ), un lenguaje de observación ampliado lógicamente  $L'o$  (que posee términos de  $V_o$  añadiendo cuantificadores y operadores), un lenguaje teórico  $L_t$  (que sólo posee términos de  $V_t$ ) y, finalmente, un conjunto de enunciados mixtos (que poseen términos de  $V_o$  y de  $V_t$ ).
- 4- El lenguaje de observación  $L_o$  y sus cálculos asociados reciben una *interpretación semántica* que satisface los siguientes requisitos: (a) el dominio de interpretación consta de acontecimientos o cosas observables, y (b) el valor de las variables de  $L_o$  se debe designar mediante expresiones de  $L_o$ .
- 5- Existe una *interpretación parcial* de los términos teóricos de la teoría que se obtiene mediante dos clases de postulados: los *postulados teóricos* (los axiomas de la teoría), donde sólo aparecen términos de  $V_t$ , y las *reglas de correspondencia*, que son enunciados mixtos. Las reglas de correspondencia deben cumplir con las siguientes condiciones: (a) el conjunto de reglas debe ser finito, (b) debe ser compatible con los postulados teóricos, (c) no debe contener términos que no pertenezcan a L, y (d) cada regla debe contener no vacuamente al menos un término de  $V_o$  y uno de  $V_t$ .

En el contexto de dicha concepción, el problema de la interpretación de las teorías

científicas apunta exclusivamente al plano referencial, más precisamente, a determinar la referencia de los términos teóricos de una teoría a partir de un conjunto de reglas de correspondencia y postulados semánticos. Con independencia de las dificultades intrínsecas a tal concepción (los postulados interpretativos no determinan ni pueden determinar unívocamente la referencia de los términos teóricos, como se infiere del teorema de Löwenheim-Skolem), puede observarse que el otro componente del significado, el sentido, fue completamente desatendido; creemos que ello constituye una seria limitación<sup>4</sup>.

El problema de la interpretación de una teoría científica consiste esencialmente en el establecimiento del significado de sus términos: su sentido y su referencia. En aquellos casos en los que esta meta no puede alcanzarse de manera completa (casos que, cabe suponer, son la mayoría) el problema se reduce a apuntar de modo “suficiente” y “satisfactorio” a dicho significado. El aspecto referencial se determina fundamentalmente por medio de las restricciones impuestas por las leyes de la teoría y a través de las restricciones que impongan desde otras teorías con las que la teoría a interpretar se encuentra vinculada. Para el establecimiento del sentido debe considerarse el conjunto de inferencias en el que participan los términos de la teoría. Este conjunto de posibles inferencias, de aquello que podemos conjeturar acerca de una entidad a partir de la afirmación de que posee una determinada propiedad o pertenece a una determinada clase o categoría, depende de los contextos en los que dichos términos son utilizados. La naturaleza de tales contextos viene dada por los vínculos entre la teoría cuyos términos se desea interpretar y aquellas teorías presupuestas en su aplicación. Precisar estas ideas requiere explicitar dos cuestiones: qué son las teorías científicas y cómo se relacionan.

## II- La concepción estructuralista

En la sección precedente procuramos elucidar las nociones vinculadas al concepto de interpretación en general: significado, sentido y referencia. Particularmente, señalamos su papel en la discusión acerca del significado de los términos de las teorías científicas y reproducimos someramente el contexto de dicha discusión. Por último, expresamos nuestra tesis en términos más precisos que aquellos empleados en la introducción. En esta sección introduciremos los elementos de la herramienta meta-teórica que consideramos más apta para expresar de un modo preciso las ideas presentadas hasta aquí: la concepción estructuralista de las teorías científicas (Balzer, Moulines y Sneed, 1987). Dicho enfoque permite determinar y delinear con gran nitidez tanto el concepto de teoría científica como un gran número y una amplia variedad de relaciones entre teorías, posibilitando así una formulación muy precisa de la naturaleza y los problemas de la interpretación y del cambio teórico.

El efecto de la irrupción historicista en la filosofía de la ciencia durante los años sesenta y setenta fue doble: por un lado, se produjeron importantes desarrollos en una rama de los *science studies* que culminarían con la constitución de una nueva disciplina, la sociología de la ciencia; por otra parte, asimilando las contribuciones historicistas y procurando superar algunas de las limitaciones intrínsecas de la concepción heredada de las teorías científicas, se desarrolló una familia de posiciones reunidas bajo el nombre de *concepción semántica de las teorías*. En esta última línea se inscriben las ideas de Suppe, van Fraassen, Giere, Dalla Chiara y Toraldo di Francia y la *concepción estructuralista de las teorías* (Diez y Moulines, 1997, Capítulo 10).

Mariano Lastiri y Martín Narvaja

Desde el enfoque estructuralista, el análisis de una teoría T requiere identificar fundamentalmente dos componentes: un núcleo formal (K) y un conjunto de aplicaciones empíricas (I). El núcleo K caracteriza aquellos conceptos mediante los cuales la teoría T organiza el mundo y las leyes que, si la teoría es correcta, rigen el comportamiento de las entidades que lo pueblan. El núcleo K viene dado por los *modelos potenciales* ( $M_p$ ) y el conjunto de *leyes* (L). Los modelos potenciales  $M_p$ , son estructuras que tienen, en general, la siguiente forma:

$$\langle M_p = \cdot D_i, R_j \rangle$$

Es decir, son n-duplas ordenadas que contienen ciertos dominios  $D_i$  y ciertas relaciones  $R_j$  definidas sobre los dominios. En un sentido amplio, podemos decir que la *ontología* de la teoría viene dada por estos componentes, los dominios *son* (o *representan a*) los objetos de la teoría, mientras que las relaciones *son* (o *representan a*) las propiedades de o las relaciones entre esos objetos. Las leyes pertenecientes a L constituyen un subconjunto de las relaciones  $R_j$  y establecen las condiciones específicas de la teoría T. Los *modelos* M de la teoría son los modelos potenciales  $M_p$  que satisfacen las leyes pertenecientes a L.

De los conceptos caracterizados en los modelos potenciales, algunos serán anteriores a e independientes de la teoría en cuestión (*no-teóricos* respecto a la teoría T). En el núcleo puede identificarse también una subestructura que contiene todos, y únicamente, esos conceptos no-teóricos: el conjunto de *modelos potenciales parciales* ( $M_{pp}$ ). Su extensión está dada por los modelos potenciales que pueden describirse sin recurrir a las leyes de la teoría en cuestión (que no la presuponen), de manera tal que no necesariamente obedecen a dichas leyes.

El conjunto I de aplicaciones de la teoría es el conjunto de aquellos sistemas empíricos de los cuales la teoría T pretende dar cuenta. Decir que mediante el formalismo de una teoría T podemos describir correctamente los resultados de los experimentos significa, en primer lugar, que tales experimentos pueden describirse mediante los conceptos no-teóricos de T, y que, en segundo lugar, sus resultados pueden ser explicados mediante las leyes de la teoría T<sup>5</sup>.

No es necesario señalar que para satisfacer el primer requisito, deben identificarse los conceptos no-teóricos. Dado que el significado de estos conceptos se determina a través de vínculos con otras teorías, “uno no puede comprender enteramente los conceptos físicos que aparecen en una teoría sin saber cómo esa teoría está relacionada con otras teorías distintas” (Moulines y Sneed, 1980, p. 26). O sea, una de las condiciones fundamentales para la correcta interpretación de una teoría física es saber cuáles son las teorías con las que está relacionada y de qué manera. El estructuralismo analiza tales relaciones en términos de los vínculos interteóricos que conectan los términos *teóricos* de T con los términos no-teóricos de T. Estos últimos pertenecen a otras teorías que proporcionan los métodos de medición para las magnitudes expresadas por tales conceptos y las categorías lógicas y herramientas matemáticas empleadas en su aplicación.

Pero, además, debe existir algún procedimiento, legítimo desde el punto de vista lógico o matemático, que permita establecer tales vínculos entre los conceptos teóricos de la teoría T y los conceptos de las teorías con las que T aparece relacionada en esos casos: los modelos de las teorías presupuestas deben ser modelos de la teoría T a ser evaluada. Llamaremos a esta exigencia “*requisito de compatibilidad*”. Por ejemplo, en el caso de la

electrodinámica, se presuponen teorías distintas de ella, a partir de las cuales se interpretan sus términos no-teóricos; ejemplos de éstos son ‘espacio’ y ‘tiempo’.

Recapitulando, podemos formular los dos criterios básicos y fundamentales para la correcta interpretación de una teoría empírica: debemos conocer con qué teorías aparece relacionada y debemos poder reconstruir tales vínculos de una manera lógico-matemática correcta.

Considerando el *requisito de compatibilidad*, el lector bien puede preguntarse si una condición aparentemente tan débil no resultará siempre satisfecha y, por tanto, trivial. Y, en caso de que hubiera una *incompatibilidad*, ¿cómo podría ésta manifestarse? La respuesta al primer interrogante es negativa; un ejemplo actual son los problemas de la medición y del límite clásico de la mecánica cuántica, discutidos entre otros por Peter Mittelstaedt (1998) en su libro *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Problem*. El segundo interrogante bien puede responderse con un ejemplo histórico: el de la electrodinámica.

### III- La electrodinámica: interpretación y reinterpretación.

“El hecho de que ciertos cuerpos, luego de ser frotados, parezcan atraer otros cuerpos era conocido por los antiguos. En los tiempos modernos, una gran variedad de otros fenómenos ha sido observada, y se ha encontrado que están relacionados con aquellos fenómenos de atracción. Se los ha clasificado bajo el nombre de fenómenos *eléctricos* [...] También se sabe desde hace largo tiempo que otros cuerpos, particularmente los imanes y piezas de hierro y acero sometidas a ciertos procesos, manifiestan fenómenos de acción a distancia [que] han sido clasificados con el nombre de fenómenos *magnéticos* [...] Desde siempre es sabido que estas dos clases de fenómenos están relacionadas entre sí y las relaciones entre los fenómenos de ambas clases, hasta donde son conocidas, constituyen la ciencia del Electromagnetismo.” (Maxwell, 1873, cursivas en el original).

Con estas palabras James C. Maxwell iniciaba el prefacio a su primera edición del *Treatise on Electricity and Magnetism*; las leyes dinámicas en él contenidas significaron para los fenómenos electromagnéticos lo que las leyes de Newton para los fenómenos gravitatorios. Anteriormente a la gran síntesis allí plasmada, las principales leyes referidas separadamente a los campos de la electricidad y el magnetismo eran la Ley de Coulomb para el campo eléctrico  $E$  producido por una carga puntual estática  $q$  y la ley de Biot-Savart para el campo magnético  $B$  producido por un cable transmitiendo una corriente  $i$  (Cushing, 1998, p.195).

El objeto del presente apartado es recordar el desarrollo conceptual de la electrodinámica desde sus avances en la época posterior a Newton hasta la publicación en 1905 de “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento” (Einstein, 1905). Numerosas cuestiones históricas, algunas de detalle y otras de naturaleza polémica, son deliberadamente omitidas<sup>6</sup>. La finalidad de los párrafos que siguen no es histórica, sino doblemente conceptual: por un lado, ilustrar cómo el establecimiento de ciertos vínculos entre la electrodinámica y la cinemática clásica conlleva una violación del denominado *requisito de compatibilidad* y, consecuentemente, impide una interpretación satisfactoria de los términos de la teoría de Maxwell; por otro, poner de manifiesto el modo en que dicho requisito es satisfecho al vincularse la electrodinámica con la cinemática relativista. Veremos que la referencia de los términos electrodinámicos, en cierto sentido, permanece invariante a través de los cambios mencionados. Veremos también que el significado de tales términos, por el contrario, se modifica al cambiar la cinemática presupuesta.

Mariano Lastiri y Martín Narvaja

En la física moderna posterior a Newton, los fenómenos de la electricidad fueron comprendidos inicialmente en términos mecánicos, considerándose que los cuerpos cargados se repelen o atraen a causa de una fuerza que actúa entre ellos sin un medio transmisor, y cuya magnitud depende tanto de la distancia entre los cuerpos como de sus cargas. De este modo, la fuerza actuante en los fenómenos de atracción y repulsión de cuerpos cargados era asimilada a la fuerza gravitatoria, con la diferencia de que la fuerza de la gravedad es siempre atractiva y la fuerza eléctrica produce unas veces atracción y repulsión otras. Esta analogía se ve reflejada en la similitud formal entre las ecuaciones que expresan las mencionadas leyes de Newton y de Coulomb.

Ya en el siglo XIX, las ingeniosas experiencias de Faraday y Oersted permitieron establecer cualitativamente las relaciones entre los fenómenos eléctricos y los magnéticos de modo experimental y, por otra parte, condujeron a la introducción del concepto de “campo”. Así alcanzaban su primer enunciado las leyes que correlacionan la variación de un campo eléctrico con la producción de un campo magnético -Oersted- y la variación de un campo magnético con la producción de un campo eléctrico -Faraday- (Einstein e Infeld, 2004, Capítulo III).

Para aquellos autores, tanto como para sus más inmediatos contemporáneos, los campos eran concebidos en términos mecánicos. Esto es, se pensaba que los fenómenos electromagnéticos podrían explicarse, en última instancia, en términos de partículas y fuerzas actuantes entre ellas. En otras palabras, los mencionados autores sostenían una posición que hoy se denomina *reduccionismo ontológico*; en este caso particular, este supuesto establece que las referencias de los términos de la electrodinámica no son más que sistemas constituidos en última instancia por las entidades a las que refiere la mecánica de Newton<sup>7</sup>.

En 1873, con la aparición del ya citado *Treatise on Electricity and Magnetism*, Maxwell reunía en un único sistema el conjunto de leyes que rigen los fenómenos de la electricidad y el magnetismo. A partir de este trabajo pudo describirse la evolución de los estados de todo campo que rodeara una carga variable, es decir, de toda onda electromagnética. Posteriormente, H. Hertz, además de obtener una de las confirmaciones más notables de la teoría electrodinámica –el descubrimiento de las ondas hertzianas–, ofreció una versión acabada de la teoría al ordenarla partiendo de las ecuaciones de Maxwell y deduciendo desde allí las demás leyes de los fenómenos eléctricos y magnéticos, como las ya mencionadas leyes de Coulomb y Biot-Savart. Este nuevo ordenamiento ponía de manifiesto las leyes fundamentales de la electrodinámica, ilustrando su relativa independencia respecto de los desarrollos anteriores.

Como hemos visto, las investigaciones de Coulomb, Faraday y Maxwell tenían como trasfondo un supuesto reduccionista: la ontología fundamental sería provista por la mecánica, regida por las leyes de Newton. Bajo este supuesto, la interpretación de la electrodinámica, es decir, la identificación del significado de sus términos debía tener una respuesta asociada a la mecánica de Newton: se esperaba que la referencia última de los términos de la teoría de Maxwell se estableciera a través de los vínculos con la mencionada mecánica. Los intentos por llevar a cabo tal reducción –que no debe entenderse como una explicación nomológico-deductiva de las leyes electrodinámicas a partir de las leyes mecánicas– fueron numerosos; caben destacarse los del propio Maxwell y de Lord Kelvin<sup>8</sup>. Sin embargo, numerosas dificultades en relación con diversos tópicos (conceptuales, experimentales y teóricos) manifestaban la presencia de algún tipo de incompatibilidad entre ambas teorías.



Un ejemplo particularmente ilustrativo de esta incompatibilidad es el presentado por Einstein en su famoso artículo de 1905, “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, donde se establecen las bases de la relatividad especial. Se considera allí la acción recíproca entre un imán y un conductor, donde el fenómeno observable depende sólo del movimiento relativo del conductor y el imán, es decir, de la distancia entre el imán y el conductor y de cómo ésta varía. Einstein señala acertadamente que la electrodinámica establece una distinción esencial entre los casos en que uno u otro de los cuerpos se halle en movimiento. Lo que aquí está en juego es la ley de la fuerza de Lorentz; la fuerza que actúa sobre una carga  $q$  depende del campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y del campo magnético  $\mathbf{B}$ .

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

De acuerdo con esta ley, si lo que se mueve es el imán, la velocidad  $\mathbf{v}$  de las cargas  $q$  es nula ( $\mathbf{v}=0$ ); por lo tanto, el segundo término de la parte derecha de la ecuación se anula y la fuerza ejercida sobre las cargas eléctricas del conductor depende únicamente del campo eléctrico  $\mathbf{E}$ . Por otra parte, si lo que se mueve es el conductor, se origina una fuerza cuya magnitud resulta del producto vectorial entre la velocidad  $\mathbf{v}$  de las cargas  $q$  en la dirección del movimiento y el campo magnético  $\mathbf{B}$  constante del imán; dicha fuerza mueve las cargas  $q$  a lo largo del conductor. Ahora bien, este resultado es incompatible con la cinemática clásica, ya que desde ese punto de vista ambas situaciones son idénticas, debido a que las coordenadas de las cargas son invariantes bajo las transformaciones de Galileo.

Dicho de otro modo y en palabras del propio Einstein, esta vez de su libro *Relativity. The Special and the General Theory* (2001): “Ahora bien, asumiendo que las ecuaciones de Maxwell-Lorentz valen para un cuerpo de referencia  $K$ , entonces hallamos que no valen para un cuerpo de referencia  $K'$  moviéndose uniformemente respecto de  $K$ , siempre y cuando se asuma que las transformaciones de Galileo valen entre las coordenadas de  $K$  y  $K'$ ” (p.52).

Para articular este tipo de resultados con la mecánica de Newton era necesario establecer la existencia de algún sistema de referencia privilegiado que estableciera cuál de los objetos se movía en realidad y, consecuentemente, permitiera distinguir ambas situaciones y evitar la incompatibilidad mencionada. Por ejemplo, para interpretar físicamente tal incompatibilidad se asumía que el cuerpo  $K$  o la carga  $q$  (según el ejemplo) se encontraban en reposo respecto del éter. El problema, sin embargo, reaparecía: los resultados negativos de los experimentos para detectar la existencia del éter, como el de Michelson y Morley, forzaban la introducción de nuevas hipótesis, como la de la contracción de los cuerpos en la dirección de su movimiento respecto del éter propuesta por Lorentz y FitzGerald. En resumen, la naturaleza de tales respuestas, que introducían nuevas hipótesis a fin de evitar las contradicciones, ponía claramente de manifiesto la persistencia de la incompatibilidad (Einstein, 2001, pp.52-53).

Como tuvimos oportunidad de señalar más arriba, Einstein comprendió el problema de la incompatibilidad entre las transformaciones de Galileo y los resultados de la electrodinámica en toda su dimensión. Su intención era devolver a su pureza original el principio de relatividad del movimiento propuesto por Galileo. Para ello, debió abandonar el conjunto de transformaciones conocidas como *transformaciones de Galileo*, y formular la cinemática conocida como cinemática relativista, que obedece a las *transformaciones de Lorentz*. ¿Qué se obtenía con este cambio de la cinemática clásica por la relativista? En términos del propio Einstein: “... una electrodinámica de cuerpos en movimiento simple y consistente basada en la teoría de Maxwell para cuerpos en reposo” (Einstein, 1905, p.112).

Mariano Lastiri y Martín Narvaja

Recapitulando, podemos decir que la electrodinámica puede vincularse tanto con la mecánica clásica como con la relativista. Sin embargo, si los procedimientos de determinación de los conceptos no-teóricos de la electrodinámica (partícula, posición, velocidad, etc.) se toman de la mecánica clásica, se obtienen contradicciones, de manera que el requisito de compatibilidad formulado anteriormente no es satisfecho. En consecuencia, no es posible dar, en términos de la mecánica clásica, una interpretación adecuada de los fenómenos electrodinámicos. Por otra parte, las contradicciones desaparecen al modificar la teoría que proporciona dichos medios de determinación de los términos no-teóricos. Esto es lo que ocurre con la introducción de la relatividad especial, como ya observara el propio Einstein (1905, pp.111-2).

¿Qué nos muestra, pues, el caso estudiado en relación con la pregunta acerca del concepto de *interpretación de una teoría científica*? Muy sencillo: la importancia absolutamente fundamental de la *compatibilidad* entre las distintas teorías que se utilizan conjuntamente para explicar un ámbito de la realidad. Dicha compatibilidad es imprescindible para proveer una interpretación adecuada de cualquier teoría científica. Las propiedades atribuidas a las entidades propias de una teoría (en el caso estudiado, las propiedades del campo electromagnético) deben ser compatibles o, al menos, no llevar a contradicciones con las propiedades atribuidas a los objetos denotados por los términos no-teóricos (las partículas, los objetos materiales).

#### IV- Conclusiones

Hasta aquí, el desarrollo conceptual de un episodio significativo en la historia de la física moderna: la *reinterpretación* de la electrodinámica a partir del cambio de su teoría de fondo. Éste no es sino un ejemplo que ilustra nuestra tesis: los términos de una teoría adquieren propiamente su significado al vincularse con otras teorías. La interpretación es la adquisición o asignación de tal significado. Es deseable y pertinente que el producto de la interpretación de una teoría sea comprensible, es decir, sea al menos no contradictorio o consistente.

Respecto del problema de la interpretación de las teorías científicas, la discusión tradicional enfrentó dos posiciones: instrumentalismo y realismo. El realismo se planteaba en términos reductivistas (fiscalistas o mentalistas). Actualmente, el debate acerca de la naturaleza de las entidades a las que refieren las teorías científicas se ha enriquecido a partir de consideraciones pluralistas inspiradas en el realismo internalista de Putnam quien, a su vez se inspira en el pensamiento de Kant. Todas estas posturas tienen, pese a su enorme diversidad, consistencia y alcance, un rasgo común: resuelven la cuestión de la interpretación o el significado de los términos de las teorías científicas en marcos filosóficos que restringen el problema al ámbito estrictamente filosófico o epistemológico. El enfoque relacional que proponemos pone el énfasis en el papel fundamental que el vínculo entre teorías físicas, matemáticas e incluso filosóficas desempeña en la interpretación de las teorías científicas. Como consecuencia de ello, la cuestión del significado de los términos de las teorías científicas y de su consistencia no se resuelve sólo en una elucidación, sino que da lugar a la posibilidad de nuevos desarrollos teóricos. El ejemplo presentado, el del surgimiento de la relatividad especial, sería un caso paradigmático de lo fructífero que puede resultar este enfoque.

Parece razonable esperar que un desarrollo teórico en esta materia permita detallar las condiciones de satisfactoriedad para una interpretación, y es no menos razonable suponer que, una vez demarcadas estas condiciones con mayor precisión, puedan ser aplicadas a

problemas de interpretación en casos más complejos que el estudiado. En particular, es nuestra intención utilizar los conceptos aquí esbozados, una vez que se los haya desarrollado, para la elucidación de los problemas de interpretación de la mecánica cuántica. En tal caso, es evidente que las incompatibilidades son mucho más numerosas que en el caso aquí estudiado. La pregunta central se refiere a qué elemento será necesario abandonar para lograr una interpretación consistente de la mecánica cuántica: ¿la teoría de la probabilidad?, ¿la ontología de fondo?, ¿la física clásica con la cual configuramos los procesos de determinación empírica?, ¿la lógica clásica?, ¿la base matemática conjuntista? Todas estas alternativas han sido, aunque de modo inorgánico, ya concebidas.

El aporte que podría realizar el desarrollo y la aplicación de los conceptos aquí esbozados es, además de lo señalado más arriba, claridad. Por otra parte, este enfoque podría asociarse al pluralismo ontológico de raigambre kantiana, a fin de brindarle un fundamento extra-filosófico que respaldara la necesidad de multiplicar las “realidades” a partir de la existencia de incompatibilidades entre teorías o marcos teóricos. Por último, cabe resaltar otra conclusión que se extrae directamente de lo dicho en los párrafos precedentes. De acuerdo con esta idea de interpretación, esencialmente relacional, no hay un criterio único o una preferencia metafísica determinada *a priori* acerca de qué es lo que se debe modificar para lograr la compatibilidad necesaria. Algunas veces lo más inmediato se impone, otras veces, es lo puramente teórico lo que predomina. Naturalmente, todo esto supone mucho más de lo que se ha dicho aquí. No obstante, creemos, un paso está dado.

Recibido: 07/01/08. Aceptado: 15/05/08

## NOTAS

- <sup>1</sup> En la breve presentación de este desarrollo seguiremos a Orlando (1999), *Concepciones de la Referencia*.
- <sup>2</sup> Un ejemplo sencillo de esta elucidación puede encontrarse en la aplicación de la distinción entre sentido y referencia al famoso problema de la dualidad onda-corpúsculo de la mecánica cuántica. Sea un sistema cuántico S, la referencia del término ‘S’ se encuentra relativamente determinada por los axiomas de la teoría. Algunas veces S manifiesta propiedades ondulatorias, otras veces, propiedades corpusculares. La distinción sentido-referencia permite evitar la conclusión de que S es una onda y un corpúsculo o que la referencia de S es una entidad contradictoria. De acuerdo con la distinción podemos decir que S tiene dos formas de presentarse o dos conjuntos de descripciones incompatibles, dos sentidos parciales incompatibles. La referencia del término, no obstante, no tiene por qué poseer esta incompatibilidad.
- <sup>3</sup> Para un estupendo análisis de las dificultades asociadas a la perspectiva Fregeana, puede consultarse el ya clásico estudio de Tomás Moro Simpson (1975), *Formas Lógicas, Realidad y Significado*, Capítulo IV y Apéndices I y II.
- <sup>4</sup> Algunos análisis y lúcidas críticas de estas cuestiones pueden encontrarse en Feyerabend (1981a, 1981b).
- <sup>5</sup> Estas caracterizaciones constituyen una versión de la concepción estructuralista deliberadamente simplificada a los fines de resaltar nociones que serán relevantes para la argumentación posterior.
- <sup>6</sup> El lector interesado en las diversas cuestiones históricas aquí omitidas puede consultar: D’Abro, *The Evolution of Scientific Thought* (1950), Whittaker, *A History of the Theories of Ether and Electricity* (1953), Berkson, *Las Teorías de los Campos de Fuerza. Desde Faraday hasta Einstein* (1985), o el ya citado texto de Cushing, *Philosophical Concepts in Physics* (1998).
- <sup>7</sup> Acerca de la cuestión del reduccionismo, puede consultarse Labarca y Lombardi (2007).
- <sup>8</sup> Respecto de este punto, véase Cushing (1998), Capítulo 13.

Mariano Lastiri y Martín Narvaia

## BIBLIOGRAFÍA

- Balzer, W. *Teorías Empíricas: Modelos, Estructuras y Ejemplos. Los Elementos Fundamentales de la Teoría Contemporánea de la Ciencia*. Madrid, Alianza, 1997.
- Balzer, W.; Moulines, C. U.; Sneed, J. *An Architectonic for Science: the Structuralist Program*. Dordrecht, Reidel Publishing Company, 1987.
- Balzer, W.; Sneed, J.; Moulines, C. U. *Structuralist Knowledge Representation*. Amsterdam, Rodopi, 2000.
- Berkson, W. *Las Teorías de los Campos de Fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid, Alianza Editorial, 1985.
- Cushing, J. *Philosophical Concepts in Physics*. Cambridge, University Press, 1998.
- D'Abro, *The Evolution of Scientific Thought*, N. York, Dover Publications, 1950.
- Diez, J.; Moulines, U. *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Barcelona, Ariel, 1997.
- Einstein, A.; Infeld, L. *La Física, Aventura del Pensamiento*. Buenos Aires, Losada, 2004.
- Einstein, A. "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento", en *Einstein 1905, un Año Milagroso*, pp. 111-43, Barcelona, Crítica, 2001.
- — — *Relativity. The Special and the General Theory*. New York, Wings Books, 2001.
- Feyerabend, P. "On the interpretation of scientific theories", en *Realism, Rationalism and Scientific Methods. Philosophical Papers, Volume 1*, pp. 37-43. Cambridge, Cambridge University Press, 1981a.
- — — "On the 'meaning' of scientific terms", en *Realism, Rationalism and Scientific Methods. Philosophical Papers, Volume 1*, pp. 97-103. Cambridge, Cambridge University Press, 1981b.
- Frege, G., "Sobre sentido y referencia", en *Escritos Filosóficos*. Barcelona, Crítica, 1996 (original de 1892).
- Grünbaum, A. *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*. New York, 1963.
- Heisenberg, W. *La Imagen de la Naturaleza en la Física Actual*. Barcelona, Ariel, 1976.
- Labarca, M.; Lombardi, O. "Irreversibilidad y pluralismo ontológico", en *Scientiae Studia*, Vol. 5, N°2, pp. 139-67, Sao Paulo, 2007.
- Mach, E. *Desarrollo Histórico Crítico de la Mecánica*. Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1949.
- Maxwell, J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Vol. I). New York, Dover Publications, 1954 (original de 1873).
- Mittelstaedt, P. *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Problem*. Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- Moulines, C. U. *Pluralidad y Recursión: Estudios Epistemológicos*. Madrid, Alianza, 1991.
- Moulines, C. U.; Sneed, J. D. *La Filosofía de la Física de Suppes. Lecturas Filosóficas*, número 6, México, 1980.
- Moulton, F.; Schifferes, J (eds) *Autobiografía de la Ciencia*. México, FCE, 1986.
- Orlando, E. *Concepciones de la Referencia*. Buenos Aires, Eudeba, 1999.
- Pauli, W. *Escritos sobre Física y Filosofía*. Madrid, Debate, 1996.
- Popper, K. *La Lógica de la Investigación Científica*. Madrid, Tecnos, 1980.
- Putnam, H. *El Significado y las Ciencias Morales*. México, UNAM, 1991.
- Quine, W. "Dos dogmas del empirismo", en *Desde un Punto de Vista Lógico*. Buenos Aires, Orbis, 1984.
- Saussure, F. *Curso de Lingüística General*. Publicado por Bally y Secheyay, Buenos Aires, Losada, 1945.
- Suppe, F. *La Estructura de las Teorías Científicas*. Madrid, Editora Nacional, 1979.
- Whittaker, E. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. London, Nelson and Sons, 1953.