

LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURALISTA DE LA CIENCIA

C. Ulises Moulines
Universität München

RE Al igual que cualquier otra empresa de las ciencias de la cultura, la filosofía de la ciencia puede abordar su objeto de estudio desde dos perspectivas fundamentalmente distintas: desde un punto de vista sincrónico o bien diacrónico. Esta distinción metodológica, que se retrotrae a las consideraciones de Ferdinand de Saussure sobre el estatuto de la lingüística (de Saussure 1916) es extremadamente útil para determinar, ante un enfoque dado cualquiera, no solo cuál es el tema tratado por él, sino también cómo ese tema es tratado en él. Al mantener sistemáticamente la diferenciación entre una perspectiva sincrónica y una diacrónica, nos ahorramos muchas querellas innecesarias y estériles. Muchos de los conflictos supuestamente fundamentales en la teoría de la ciencia desde la llamada “revolución historicista” de los años 60 tienen como origen simplemente la confusión entre ambas perspectivas o bien la pretensión de monopolio por parte de una perspectiva en detrimento de la otra. También en su época había tenido de Saussure grandes dificultades en convencer a sus colegas historicistas de que una lingüística sincrónica tenía su derecho a la existencia. Hoy día ya nadie duda de ello. Y lo mismo habría que decir de la teoría de la ciencia, que a este respecto (como a tantos otros), revela tener muchos paralelismos metodológicos y conceptuales con la lingüística teórica. Dicho en términos generales, tanto la perspectiva sincrónica como la diacrónica deben ser reconocidas como igualmente importantes en cualquier ciencia de la cultura, y ello vale por tanto también para la filosofía de la ciencia. A largo plazo, y si la disciplina en cuestión se desarrolla de manera adecuada y fructífera, es probable que ambas perspectivas acaben por fundirse en una síntesis metodológica. Pero eso solo puede ocurrir a través de una dinámica orgánica propia, que permita una aproximación de los planteamientos en uno y otro enfoque, y no forzando una amalgama indigerible. Ciertamente, el desarrollo de la filosofía de la ciencia, tanto en su versión sincrónica como en la diacrónica, ha alcanzado en la actualidad ya un estadio en que puede tener sentido iniciar una síntesis orgánica de ambas perspectivas, por lo menos para algunos planteamientos muy determinados y siempre sin descuidar las diferencias metodológicas básicas.

Este desarrollo metódico que observamos en la filosofía de la ciencia actual, es, por lo demás totalmente independiente de la cuestión de si hay que formalizar o

no las concepciones epistemológicas. Algunos autores han interpretado el llamado “giro pragmático” en la filosofía de la ciencia como un abandono de los métodos de análisis formales. Esto es una interpretación metodológica errónea. Por lo menos desde los trabajos de Richard Montague sabemos que se puede construir una pragmática general formalizada; y muchos de los temas centrales de la teoría de la ciencia, como, por ejemplo, el concepto de explicación o la problemática de los términos teóricos, se tratan hoy día partiendo de concepciones a la vez pragmatizadas y formalizadas. En realidad, ya los clásicos de la teoría formal de la ciencia, en primer lugar el propio Rudolf Carnap, habían subrayado la necesidad de incluir elementos pragmáticos en una reconstrucción lógica completa de los constructos científicos. Ya en su monografía sobre los fundamentos de la lógica y de las matemáticas (Carnap 1939) había indicado cómo habría que emprender correctamente un análisis formal-pragmático del lenguaje descriptivo de la ciencia. Así pues, el “giro pragmático” en la filosofía de la ciencia no surgió apenas en los años 60, sino que ya estaba, por así decir, “programado” desde el principio. Sin embargo, es cierto que los clásicos de la teoría formal de la ciencia, en sus trabajos más sistemáticos, se dedicaron casi exclusivamente a los aspectos sintáctico-semánticos de la ciencia. Ello tenía por otro lado sus buenos motivos metodológicos: en primer lugar, no se puede hacer todo a la vez; en segundo lugar, primero había que explorar todas las capacidades de la lógica clásica, de la semántica de Tarski y otros medios formales análogos para analizar las estructuras sintáctico-semánticas, antes de que se pudiera pasar a un aparato conceptual más general. Por razones parecidas, las estructuras diacrónicas de la ciencia no es que fueran completamente descuidadas por los epistemólogos clásicos, pero sí fueron dejadas a un lado con ventaja de la perspectiva sincrónica.

Hoy día, la situación es completamente distinta. La dinámica propia de la teoría formal de la ciencia ha conducido a un complejo de resultados y planteamientos, ante los cuales, en rigor, carece de sentido establecer una distinción tajante, por un lado, entre semántica y pragmática, y por otro, entre sincronía y diacronía. Estas distinciones metodológicas siguen siendo útiles como idealizaciones que nos sirven, a modo de medios heurísticos, al principio de cualquier análisis conceptual de la ciencia; pero debemos concebirlas en realidad como la famosa “escalera de Wittgenstein”: las podemos arrojar una vez que hayamos alcanzado la visión correcta de las cosas.

Ahora bien, de todas las concepciones de la teoría de la ciencia que actualmente están en discusión, el programa estructuralista de reconstrucción de las teorías es, en mi opinión, el enfoque en el que la síntesis de las diferenciaciones metodológicas antes citadas se ha llevado a cabo de la manera más consecuente y prometedor. Este enfoque pertenece al campo de la teoría formal de la ciencia en el sentido de que no solo se hace uso de la lógica formal, sino también de los conceptos y métodos de la teoría de modelos tarskiana y de los medios de representación de la teoría de conjuntos elemental. En esto último se ve inspirado sobre todo por los trabajos previos de Patrick Suppes y sus colaboradores, quienes ya han reconstruido una gran porción de las ciencias empíricas con medios relativamente elementales de la teoría de conjuntos y utilizando el método que se conoce como “axiomatización por medio de un predicado

conjuntista”. Tarski y Suppes son, pues, los dos precedentes metodológicos inmediatos de la concepción estructuralista, tal como ésta fue iniciada primero por Joseph Sneed (1971), reelaborada y divulgada por Wolfgang Stegmüller (1983 y 1981), y que ha culminado (al menos por el momento) en la obra conjunta *An Architectonic for Science* (Balzer, Moulines y Sneed 1987). El enfoque estructuralista procede formalmente o semiformalmente en todos aquellos aspectos de la reconstrucción de la ciencia que pueden tratarse de manera puramente extensional; pero también pone en claro que hay diversos aspectos que al menos de momento no pueden tratarse así, y como no está claro en qué medida se puede aplicar una lógica intensional formal a dichos aspectos, deja como cuestión abierta hasta qué punto hay que proceder en una formalización y qué partes del análisis deben ser informales. El punto de vista puramente sintáctico juega un papel escaso en la concepción estructuralista, aunque no del todo inexistente; en cualquier caso, lo característico de este enfoque es una combinación original de los modos de análisis semántico y pragmático. Estos últimos, a su vez, los toma el estructuralismo como la base para un análisis a la vez sincrónico y diacrónico de determinados aspectos de los constructos científicos. En lo que sigue, me propongo exponer cuáles son los elementos esenciales de la metateoría estructuralista que pueden tratarse desde un punto de vista semántico-formal, especialmente modelo-teórico, y cuáles son aquellos que tienen un carácter más pragmático-informal, y que tienen más que ver con la perspectiva diacrónica.

El estructuralismo metodológico debe su nombre a su punto de partida reconstructivo, a saber, la propuesta metodológica de que no hay que tomar, como es usual en la filosofía de la ciencia, los enunciados o proposiciones como las unidades básicas del conocimiento científico, sino más bien diversos tipos de estructuras, en cuanto entidades no-proposicionales, que son inherentes al conocimiento científico. El término “estructura” se entiende aquí como término técnico de la teoría de conjuntos, y más concretamente dicho, en el sentido de Bourbaki. De acuerdo con este enfoque, las teorías científicas se conciben como determinados complejos consistentes en diversos tipos de estructuras. En un primer paso (y solo este primer paso podemos dar en este breve ensayo), esos complejos que son las teorías científicas consisten en modelos en el sentido de la semántica formal, esto es, en estructuras que satisfacen determinados axiomas. Así pues, un modelo es un tuplo de la forma

$$\langle D_1, \dots, D_m, IR_1, \dots, R_n \rangle$$

donde los D_i representan los llamados “conjuntos básicos” (o sea, la “ontología” de la teoría), mientras que las R_i son relaciones construidas sobre los conjuntos D_i . En las disciplinas cuantitativas se tratará ahí generalmente de funciones métricas definidas sobre dominios de objetos empíricos y números reales. En cualquier caso, la identidad de una teoría (en este primer paso) viene determinada por una clase de modelos así definidos. La formulación que se escoja para los axiomas que han de ser satisfechos por estos modelos es considerada por el estructuralismo como una cuestión relativamente secundaria. Lo principal es que la forma axiomática escogida fije exactamente la clase de modelos que necesitamos para la representación formal de un determinado dominio de la experiencia que por alguna razón nos interesa. Es por ello que

el análisis sintáctico de una axiomatización dada juega en el estructuralismo un papel relativamente subordinado con respecto a los planteamientos metateóricos generales; el análisis sintáctico es a lo sumo un medio heurístico para la reconstrucción adecuada de teorías particulares en estudios concretos. Al discutir la metateoría general, lo que pasa al primer plano son los conceptos y principios semántico-modelo-teóricos.

Si bien, según lo anteriormente dicho, la elección concreta de los axiomas que determinan una teoría es relativamente secundaria para identificar dicha teoría, en cambio, lo que es esencial es la distinción entre dos tipos generales de axiomas dentro de cada teoría. En efecto, hay que distinguir entre las condiciones de marco o determinaciones conceptuales de los modelos, por un lado, y los verdaderos axiomas con contenido, o sea, las leyes fundamentales, por otro. Esta distinción se puede hacer también desde un punto de vista puramente modelo-teórico¹: llamaremos “modelos potenciales” a aquellas estructuras a las que solo se imponen las determinaciones conceptuales y que por lo tanto constituyen el marco conceptual de la teoría; a su totalidad la simbolizaremos por “ M_p ”. A las estructuras que, por añadidura, satisfacen las leyes genuinas de la teoría, las llamaremos “modelos actuales”; las simbolizaremos simplemente por “ M ”. Es evidente que vale “ $M \subseteq M_p$ ”. En caso de que la teoría en cuestión no sea empíricamente trivial, siempre valdrá: $M \subseteq M_p$.

Así pues, de acuerdo con el estructuralismo, la identificación de una teoría dada cualquiera comienza por la fijación de sus clases M_p y M . La fijación de estas clases normalmente se hará dando una lista de fórmulas de la teoría de conjuntos que aceptamos como axiomas. No obstante, hay que tener presente siempre que estas fórmulas, como ya hemos indicado, solo son en realidad medios auxiliares para la identificación de las clases de modelos en cuestión y no constituyen la “sustancia” de la teoría. Podríamos tomar **otros** axiomas para determinar las mismas clases de estructuras y por tanto la misma teoría. Confundir los axiomas concretamente escogidos con la teoría en sí misma sería un error parecido al de confundir el número de pasaporte de una persona con la identidad misma de esta persona.

En principio, y mientras no se deban tomar en cuenta ulteriores complicaciones, el par de estructuras $\langle M_p, M \rangle$ constituye la identidad formal de una teoría dada. Llamaremos a este par “núcleo (estructural) formal” o simplemente “núcleo” de la teoría y lo simbolizaremos por “ K ”. Ahora bien, la identidad “ $K = \langle M_p, M \rangle$ ” solo vale en un primer paso de aproximación a la identidad formal de la teoría. En realidad, a dicha identidad le corresponden al menos tres complejos estructurales adicionales (o bien cuatro, si se quiere tratar la cuestión de la aproximación empírica); estas estructuras adicionales corresponden, respectivamente, a las siguientes constataciones metateóricas:

¹ Los detalles técnicos de esta distinción formal podrán encontrarse en el primer capítulo de *Balzer/Moulines/Sneed*, 1987.

- 1) al hecho de que los modelos de una misma teoría no suelen darse aislados unos de otros, sino que aparecen conectados entre sí mediante las llamadas “condiciones de ligadura”;
- 2) al hecho de que los modelos de una teoría dada suelen estar esencialmente ligados a los modelos de otras teorías y de que estas conexiones son de diversos tipos;
- 3) al hecho de que hay que distinguir dos niveles conceptuales y metodológicos dentro de una teoría T dada: el nivel de los conceptos que son específicos de esa teoría, y a los que llamamos conceptos “ T -teóricos”, y el nivel de los conceptos que provienen, por así decir, del “medio ambiente” de T , a los cuales llamamos conceptos “ T -no-teóricos”.

Estos tres (o cuatro) complejos adicionales que hay que tomar en cuenta para identificar formalmente una teoría son también definibles en términos modelo-teóricos y en principio deberíamos definirlos aquí también, si expusiéramos la identidad de una teoría de una manera completa. Ello, sin embargo, rompería el estrecho marco de este ensayo. En el presente contexto, nos contentaremos con la simplificación drástica de que el núcleo formal de la teoría consiste meramente del par $\langle M_p, M \rangle$; esta idea simplificada de las teorías basta para exponer los elementos esenciales de la concepción estructuralista de la ciencia.

Ahora bien, una tesis fundamental de esta concepción radica precisamente en la idea de que el núcleo formal (incluso si tomamos en cuenta la simplificación arriba mencionada) no representa el único componente de la identidad de una teoría empírica. Esto es, no sabremos realmente de qué teoría se trata si solo indicamos el marco conceptual y las leyes fundamentales de una teoría. Al contrario de lo que ocurre en las teorías de la matemática pura, en el caso de las disciplinas empíricas necesitamos la indicación del dominio de aplicaciones intencionales de estas teorías para identificarlas de manera completa.

Para mejor ilustrar estas ideas acerca de la estructura y contenido de las teorías empíricas tomemos un ejemplo particularmente simple: la mecánica del choque. Este es un caso muy sencillo, aunque real, de teoría física. En su forma primigenia fue concebida por Descartes (en su tratado póstumo *Le Monde ou Traité de la Lumière*), aunque la versión realmente correcta se la debemos a Huygens en la segunda mitad del siglo XVII. Naturalmente, la formulación que aquí presentamos es una reconstrucción lógica en términos conjuntistas y modelo-teóricos.

El dominio empírico básico de la mecánica del choque es un conjunto (finito) de partículas que chocan entre sí. La teoría se interesa solamente por la configuración del sistema de partículas inmediatamente antes y después del choque. Ello significa que como conjunto básico adicional necesitamos solo un conjunto de dos instantes, t_1 y t_2 , para “antes” y “después”. Además, para definir las magnitudes físicas de esta teoría (velocidad y masa de las partículas) se requiere del conjunto \mathbb{R} de los números reales, pues velocidad y masa son funciones métricas. Los modelos potenciales de esta teoría (los sistemas que llamamos “choques”) serán pues estructuras consistentes de dos conjuntos empíricos (“ P ”, para las partículas, y “ T ”, para los instantes), un

conjunto numérico auxiliar (los números reales, IR) y dos funciones métricas (“v”, para la velocidad como función vectorial, y “m”, para la masa como función escalar positiva). Todo ello se resume en la siguiente definición:

Def. 1: $x \in M_p [MCh]$ (o sea: “x es un modelo potencial de la mecánica del choque”) si y solo si: Existen P, T, v, m, t_1, t_2 tales que

- (0) $x = \langle P, T, IR, v, m \rangle$
- (1) P es un conjunto finito y no-vacío
- (2) $T = \{ t_1, t_2 \}$
- (3) $v: P \times T \rightarrow IR^3$
- (4) $m: P \rightarrow IR^+$

Los modelos actuales de la teoría se obtienen al añadir a las condiciones anteriores la ley fundamental de la teoría, que en este caso es la ley de la conservación de la cantidad de movimiento:

Def. 2: $x \in M [MCh]$ (o sea: “x es un modelo de la mecánica del choque”) si y solo si: Existen P, T, v, m, t_1, t_2 tales que

- (1) $x \in M_p [MCh]$
- (2) $\sum_{p \in P} m(p) \cdot v(p, t_1) = \sum_{p \in P} m(p) \cdot v(p, t_2)$

Ahora bien, habrá muchas estructuras (en realidad, un número infinito de ellas) que cumplirán las condiciones anteriores, incluida la ley fundamental y, por tanto, serán, formalmente, modelos de la teoría del choque y que, sin embargo, intuitiva o presistemáticamente no forman parte del dominio de aplicaciones intencionales de la mecánica del choque, es decir, no son choques genuinos. Por ejemplo, hay que exigir que el conjunto P conste de “verdaderas partículas”, es decir, cuerpos físicos cuyo tamaño sea desdeñable con respecto al tamaño global del sistema o que, al menos, no manifiesten efectos de rotación, que no haya fricción del aire o de otro medio, que coincidan las partículas realmente en un lugar en el espacio, etc. Se trata aquí, sin embargo de condiciones que, en general, no son formalizables, y que, además, pueden cambiar con la evolución de la teoría, de las técnicas de experimentación, de los intereses de la comunidad y otros factores no enumerables de una vez por todas. Pero solo si añadimos una tal especificación de las aplicaciones intencionales, sabremos que la teoría que analizamos es realmente la mecánica **del choque**.

Atendiendo a las consideraciones ilustradas en el ejemplo anterior, resulta que una teoría empírica no viene dada solamente por un núcleo K , sino también por un dominio de aplicaciones intencionales que es independiente del primero, y al cual simbolizaremos por “ I ”: $T = \langle K, I \rangle$. Es justamente cuando nos planteamos la cuestión de una determinación ulterior de este dominio I , que se ponen de manifiesto las

insuficiencias de una consideración puramente semántico-sincrónica de las teorías y que nos vemos llevados directamente a la inclusión de elementos pragmático-diacrónicos en nuestro concepto de teoría. Para comprender por qué ello es así, debemos preguntarnos primero cómo habría que imaginar la aprehensión modelo-teórica del dominio I :

En primer lugar, hay que concebir las aplicaciones intencionales de una teoría dada como aquellos sistemas empíricos a los que queremos aplicar las leyes fundamentales de la teoría en cuestión, para posibilitar, por ejemplo, explicaciones, predicciones y quizás también transformaciones tecnológicas de hechos concretos. Para alcanzar este objetivo, esos sistemas, sin embargo, deben estar ante todo concebidos en términos de los conceptos de la teoría misma, de lo contrario, no obtendríamos ninguna homogeneidad conceptual entre las leyes generales y los datos o hechos concretos. Ello significa que los sistemas empíricos en cuestión deben ser representados ante todo como modelos potenciales de la teoría. En nuestro simbolismo, significa esto que debemos presuponer que $I \subseteq M_p$.

De acuerdo con esta presuposición, las aplicaciones intencionales serán reconstruidas como determinados modelos potenciales de la teoría que nos interesan para determinados fines empíricos. Se trata aquí simplemente de un supuesto metodológico para que simplemente podamos empezar con el trabajo aplicativo de la teoría. Entonces, podemos imaginar distintas posibilidades con respecto a la cuestión de la aplicabilidad de las leyes, es decir, respecto a la relación entre M e I ; debemos considerar aquí tres alternativas posibles:

- (I) $I \subseteq M$;
- (II) No es el caso que $I \subseteq M$ pero sí $I \cap M \neq \emptyset$;
- (III) $I \cap M = \emptyset$.

(I) representa el caso de un éxito total de la teoría, es decir, todos los sistemas que se han propuesto como aplicaciones intencionales resultan ser efectivamente modelos actuales de la teoría, lo cual a su vez significa que todos ellos satisfacen exactamente las leyes planteadas. Es muy probable que en la historia real de las ciencias nunca se haya dado esta situación ideal, si prescindimos de aproximaciones e idealizaciones. El caso (II) representa la situación de una teoría que tiene un éxito parcial o, dicho de otro modo, que ha sido “refutada” parcialmente: algunos sistemas empíricos que nos interesan cumplen las leyes, mientras que otros no. Cuanto mayor sea la intersección $I \cap M$ en relación con la diferencia $I - M$, tanto más exitosa será la teoría. El caso en que vale (III) significa una “catástrofe total” para la teoría: en efecto, se trataría en este caso de una teoría que no es capaz de abarcar entre sus modelos actuales ni uno solo de los sistemas a los que se pretendía aplicar; a una teoría así podemos eliminarla sin más del escenario científico, pues carece por completo de valor, al menos, desde un punto de vista empírico. Así pues, para una evaluación metodológica adecuada de una teoría dada, lo más decisivo es la pregunta de cuál de las tres alternativas indicadas es la real, o sea, que debemos preguntarnos por la relación existente entre $I \cap M$

e $I - M$. El problema, sin embargo, es que si nos limitamos a emplear los medios conceptuales hasta ahora reseñados de nuestro concepto de teoría, no podemos dar una respuesta satisfactoria a dicha pregunta. Desde un punto de vista puramente estático-semántico, lo único que podemos constatar es que I es un subconjunto de M_p , pero no podemos decir nada acerca de cuáles son los bordes exactos de I dentro de M_p , cuáles son sus límites. Ello a su vez proviene del hecho, esencial para el estructuralismo, de que el dominio I , por su constitución misma, es lo que se puede llamar un “conjunto abierto”; esta denominación no del todo correcta no pretende significar otra cosa sino el hecho de que la determinación exacta de los bordes de I solo puede llevarse a cabo, por principio, si hacemos uso de conceptos pragmático-diacrónicos: I es una entidad con bordes imprecisos y constantemente cambiantes. Aparte de la determinación modelo-teórica relativamente débil según la cual “ $I \subseteq M_p$ ”, la identificación de I presupone implícitamente una serie de parámetros socio-históricos, que son irreducibles a conceptos puramente semántico-sincrónicos. Dado que la identidad de la teoría incluye el concepto de aplicación intencional, y éste a su vez, depende de dichos parámetros, resulta en consecuencia que la determinación de la teoría en su totalidad deberá tomar en cuenta dichos parámetros. Llegamos aquí a un punto en que la concepción estructural muestra claramente la necesidad de una cooperación interdisciplinaria entre lógicos, sociólogos e historiadores para resolver el problema conceptual, metateórico, de la identidad de las teorías científicas, pues la elucidación de los parámetros pragmático-diacrónicos que la constituyen deberá tomar en cuenta los resultados de esas disciplinas diversas. Más que ningún otro enfoque de la actualidad, el estructuralismo pone de relieve la necesidad del trabajo interdisciplinario en la metateoría de la ciencia.

Referencias bibliográficas

- Balzer, W./Moulines, C.U./Sneed, J.D. (1987), *An Architectonic for Science*. Dordrecht.
- Carnap, R. (1939), “Foundations of Logic and Mathematics”. *International Encyclopedia of Unified Science*, vol. 1/3. Chicago.
- de Saussure, Ferdinand (1916), *Cours de linguistique générale*. París.
- Sneed, J.D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht.
- Stegmüller, W. (1973), *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Berlin/Heidelberg. (trad. española, *Estructura y dinámica de teorías*. Barcelona, 1983).
- Stegmüller, W. (1979), *The Structuralist View of Theories*. Berlin/Heidelberg (trad. española, *La concepción estructuralista de las teorías*. Madrid, 1981).

Resumen / Abstract

Después de exponer brevemente el trasfondo del desarrollo histórico en la moderna filosofía de la ciencia que ha desembocado en la concepción estructuralista de las teorías científicas, se explican los elementos esenciales de ésta. Las unidades básicas de las teorías no son enunciados sino modelos en cuanto estructuras en el sentido de Bourbaki. Hay dos clases de modelos: potenciales y actuales. Estas ideas se ilustran mediante un ejemplo paradigmático (la reconstrucción de la mecánica del choque), cuya discusión conduce a su vez a constatar que necesitamos adicionalmente un componente diacrónico-pragmático para caracterizar adecuadamente las teorías científicas.

After briefly laying out the background of the historical development of modern philosophy of science that has led to the structuralist view of scientific theories, its essential elements are explained. The theories' basic units are not statements but rather models as structures in Bourbaki's sense. There are two classes of models: potential and actual models. These ideas are illustrated by means of a paradigmatic example (the reconstruction of collision mechanics); its discussion leads, in turn, to establishing the need for an additional diachronic-pragmatic component to adequately characterize scientific theories.