

ESTRUCTURA LÓGICA DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS: PERSPECTIVA SINTÁCTICA Y SEMÁNTICA

LOGIC STRUCTURE OF SCIENTIFIC THEORIES: SYNTACTIC AND SEMANTIC VIEW

Andrés Gallardo Corrales
Universidad Nacional
andres.gallardo.corrales@una.cr

Recibido: 29 de setiembre / **Aprobado:** 7 de octubre / **Publicado:** 10 de noviembre

Resumen: El artículo resume las principales caracterizaciones de las teorías científicas en el marco de las denominadas tradiciones “sintáctica” y “semántica”. Cada una de estas perspectivas identifica una estructura lógica de las teorías. La tradición sintáctica equipara a las teorías con un sistema formal no interpretado que puede expresarse mediante la lógica de primer orden. Por otra parte, la visión semántica realiza una axiomatización de teorías a través de la definición de predicados teóricos-conjuntistas, para lo cual emplea la teoría intuitiva de conjuntos. En la primera perspectiva es posible destacar los elementos predictivos de las teorías, mientras que la segunda tiene la ventaja de incorporar elementos históricos e interteóricos en su formalismo.

Palabras clave: concepción heredada, estructuralismo, filosofía de la ciencia

Abstract: The paper summarizes the main characterizations of scientific theories, as described by the so-called “syntactic” and “semantic” traditions. Each of these perspectives identifies a logic structure of a theory. The syntactic tradition equates scientific theories with a not-interpreted formal system, that can be expressed in first order logic. In the other hand, the semantic view makes an axiomatization of theories by the definition of set-theoretical predicates, using intuitive set theory. In the first perspective it is possible to highlight the predictive elements of scientific theories, while the second approach has the advantage of incorporating historical and intertheoretical elements in its formalism.

Keywords: philosophy of science, received view, structuralism

1. Introducción

La caracterización lógica de la ciencia involucra al menos dos de sus ámbitos fundamentales, los cuales están relacionados entre sí. Por una parte, a través de la lógica se puede expresar la estructura interna de las teorías y, por otra, describir su dinámica metodológica. Las discusiones sobre la metodología científica de investigación son las de mayor tradición filosófica, especialmente a partir de los debates epistemológicos surgidos con el nacimiento de la ciencia moderna. En esta perspectiva, la visión instaurada por *Francis Bacon* de una ciencia que funcionaba de manera *inductiva* se impuso por sobre otro tipo de caracterizaciones, tal y como la cartesiana, en la cual la inferencia *deductiva* era el arquetipo procedimental aplicable a toda rama del conocimiento.

El papel de la inducción en ciencia, fundamental para científicos como Isaac Newton y Charles Darwin, o filósofos como David Hume, será cuestionado por Karl Popper a mediados del siglo XX, a través de su descripción *falsacionista* de la metodología de investigación (1980). También en el siglo XX, se origina un cuerpo sistemático de programas de estudio filosófico en torno a la ciencia, en los cuales se analiza la naturaleza y estructura de las teorías, para lo cual se recurre, asimismo, a algunos de los desarrollos de la lógica de inicios de siglo. Una de las escuelas filosóficas más relevantes, en este sentido, lo constituyó el Círculo de Viena, en cuyo seno se origina lo que se denominó posteriormente “la perspectiva sintáctica” de la ciencia. En la segunda mitad del siglo XX, ya en el marco de las discusiones historicistas de Kuhn (1962) y Lakatos (1978), autores como [Sneed \(1971\)](#) o [Stegmüller \(1979\)](#), introducen una nueva caracterización de la estructura de las teorías científicas, para lo cual recurren no solo a la lógica de primer orden, sino también a la teoría intuitiva de conjuntos. A este enfoque se le denomina “perspectiva semántica”.

Con el objetivo de identificar la estructura lógica de las teorías se analizarán estas dos tradiciones. Mientras que en el enfoque sintáctico es posible destacar algunos elementos formales de las teorías con consecuencias en su dimensión “predictiva”, la perspectiva semántica incorpora elementos históricos e interteóricos en su formalismo. No se discutirá, por su parte, la *lógica metodológica* de la ciencia, de cuya dinámica se ocupan también estas corrientes.

2. Estructura lógica de las teorías: perspectiva sintáctica

Tal y como se ha señalado, a la *perspectiva sintáctica* se le asocia con el positivismo lógico de inicios del siglo XX, a esta tradición también se le conoce como “*la concepción heredada*” o “*concepción estándar*”. El contexto neopositivista del Círculo de Viena estuvo permeado por varios factores: 1) una adhesión a tesis empiristas por oposición a algunas perspectivas idealistas de la época, 2) una “exaltación” de las capacidades de la ciencia, debido al desarrollo de las nuevas teorías en física, como la relatividad y la cuántica, 3) un uso extendido de la lógica, en concreto como herramienta de análisis lingüístico (y esto, a su vez, como consecuencia de las ideas desarrolladas por Russell, Whitehead y Wittgenstein a inicios del siglo XX), 4) una actitud crítica (incluso agresiva) contra los *discursos* metafísicos. Todos estos factores configuraron una tradición que centró su interés en el carácter y la naturaleza de las teorías científicas, incluso dando origen a la “etiqueta” contemporánea de los estudios en “*filosofía de la ciencia*”¹.

Desde esta *perspectiva sintáctica*, se concibió a la ciencia como una actividad que tenía como propósito la descripción y explicación, a través de la formulación de teorías, de los fenómenos del mundo. La visión del carácter y límites de la lógica, así como la teoría pictórica del significado, postulada en el *Tractatus Logico-Philosophicus* de Ludwig Wittgenstein, tuvo gran influencia en esta visión, de manera especial en la idea de que el lenguaje es esencialmente representacional, es decir, una visión que restringía la función del lenguaje a la *descripción* de hechos del mundo. En

1 Algunos libros de texto hacen alusión al campo de la “filosofía de la ciencia” como aquél que inicia con el positivismo lógico, en el marco del Círculo de Viena. Sin embargo, esta caracterización es, cuando menos, parcialmente cierta, tal y como lo ha señalado [Marcos \(2010\)](#). Si bien el Círculo de Viena da lugar a una filosofía sistemática sobre la ciencia y, específicamente, a un estudio más exhaustivo de lo que Reichenbach luego denominaría el “*contexto de justificación*” (1938), las preocupaciones filosóficas y epistemológicas sobre la naturaleza de los conocimientos científicos son tan antiguas como la filosofía occidental. Marcos denomina a esta perspectiva amplia e histórica desde la cual puede concebirse a la filosofía de la ciencia, como el “*cuento largo*”. En este “*cuento largo*” aparecerían filósofos como Platón, Aristóteles, Ockham, Bacon, Descartes, Kant, entre otros ([Marcos, 2010](#)). El análisis e interpretación lógica de la ciencia debió esperar, por otra parte, al desarrollo de esta disciplina, principalmente a la aparición de la lógica de primer orden de Frege y sus desarrollos subsecuentes, tal y como el trabajo de Russell, Whitehead y Wittgenstein, mencionados con anterioridad. Claramente este es el contexto en el que surge el Círculo de Viena. De este modo, solo si se identifican los problemas filosóficos de la ciencia como aquellos relacionados con el estudio del “*contexto de justificación*”, podría afirmarse que el positivismo lógico brindó elementos y tópicos novedosos de análisis del conocimiento científico, dando origen a la “filosofía de la ciencia”. Sin embargo, esta perspectiva tampoco perduró durante el siglo XX. Hoy en día, la epistemología y filosofía de la ciencia se ocupan de problemas que van más allá de los problemas lógicos en el marco del contexto de justificación, incluso para autores clásicos como [Bunge \(2002\)](#) o [Rescher \(1999\)](#).

otras palabras: se reducía el significado del lenguaje a aquel establecido en su uso proposicional, en cuanto a que la verdad o falsedad de un enunciado se determina en virtud de su acuerdo o no con la realidad. De este modo, la ciencia (las teorías científicas) se equiparaba con conjuntos de proposiciones (verdaderas) sobre el mundo².

Esta concepción sintáctica de la ciencia, que se origina con el Círculo de Viena, luego será extendida por otros autores, quienes integran otros elementos en la descripción y caracterización de las teorías científicas. Sin embargo, todas estas posiciones parten de la noción de ciencia como teorías que pueden ser descritas de manera lingüística, como “un conjunto de enunciados expresados en términos de un vocabulario específico” (Hempel, 1958, p. 46). Por otra parte, esta tradición sintáctica se mantendrá en el marco de la dicotomía teórico/observacional, establecida por Rudolf Carnap en su delimitación de los componentes de la ciencia en una base teórica y empírica. La delimitación de las teorías en estos aspectos constituye el núcleo de esta visión sintáctica.

De este modo, en tanto construcciones lingüísticas, la visión sintáctica divide en tres componentes principales a las teorías, a saber, 1) términos, 2) enunciados y 3) lenguajes.

Los elementos fundacionales son los *términos*, es decir, aquellos conceptos básicos en el acervo del vocabulario científico. Entre estos términos es posible distinguir los de tipo a) teórico, b) lógico y c) observacional (o empíricos). Si se sigue la clasificación de Carnap, los términos teóricos aluden a entidades no-observables (o hipotéticas, como las denomina Hempel), por ejemplo “protón”, “átomo” e incluso algunos objetos de niveles macro, como “demanda agregada”, “campo gravitacional” o “campo magnético” (Winther, 2021). Estos términos son constructos teóricos *introducidos* conjuntamente en el marco de un sistema teórico y su función es “la explicación de las generalizaciones empíricas” (Hempel, 1958 p. 42)

Los *términos lógicos* forman parte de los términos presupuestos (es decir, no introducidos por la teoría) y su uso está acotado, como su nombre

2 En la tradición del Tractatus de Wittgenstein, básicamente se definía a las proposiciones como funciones de verdad de proposiciones elementales; es decir, estas proposiciones elementales constituían los argumentos de estas funciones. En esta visión, $[p, \xi, N(\xi)]$ es la forma general de una proposición. Donde “p” es una proposición elemental, “ ξ ”, una proposición o conjunto de proposiciones complejas y $N(\xi)$ la aplicación de un operador de negación. De este modo, toda proposición veritativo-funcional resulta de la aplicación de este operador a proposiciones elementales (Wittgenstein, 1921).

lo indica, por la lógica de primer orden. En este apartado se incluyen las conectivas y (\wedge , \rightarrow , etc.) y los cuantificadores (a saber, \exists , \forall). Por otra parte, los términos observacionales, son o bien predicados o relaciones entre objetos. Aluden a la base empírica de las teorías. La base empírica de las teorías suele estar asociada con los “datos” y las “observaciones” que se recogen en ciencia, o sea, con el conjunto de fenómenos observables de los que se ocupa la teoría particular.

A partir de estos elementos básicos, se construyen los *enunciados*, los cuales pueden ser, *teóricos*, de *correspondencia* y *observacionales* (también llamados *empíricos*). Los enunciados teóricos (*theoretical sentences*, T_s) son el conjunto de axiomas, teoremas y leyes de la teoría. Solo contienen términos teóricos y lógicos. Podrían incluir, por ejemplo, las leyes de la mecánica clásica (adecuadamente axiomatizadas) (Winther, 2021). En este conjunto se distinguen los enunciados primitivos (*axiomas*) de los enunciados derivados (*teoremas*). Los enunciados de correspondencia (*correspondence sentences*, C_s) vinculan los enunciados teóricos con los fenómenos observables (o con alguna parte de la realidad). Pueden contener los tres tipos de términos aludidos antes. Confieren a la sintaxis teórica una interpretación y una aplicación, esto es, una *semántica* (Winther, 2021)³. Por último, los enunciados empíricos u observacionales (*observational sentences*, O_s) aluden a eventos observables (a la base empírica de las teorías), por lo que solo contienen términos empíricos y lógicos.

Un último nivel en esta caracterización de las teorías lo constituyen los *lenguajes*. El dominio completo de la ciencia consiste en dos tipos de lenguaje, uno de tipo teórico (L_t) y otro lenguaje observacional o empírico (L_o). De manera evidente, L_t contiene el vocabulario teórico, mientras L_o el vocabulario empírico. Ambos contienen términos lógicos, pero L_t contiene, además (y está supeditado por), el cálculo lógico del sistema axiomático

3 Se trata, asimismo, de las “reglas de correspondencia” establecidas por Carnap, necesarias para su división de las teorías científicas en una “base teórica” y una “base empírica”. Estas reglas vinculan “los términos teóricos con los términos referentes a observables”. (Carnap, 1988, p. 199). En esta tradición sintáctica, el papel de estas reglas es esencial, pues son las que vinculan los sistemas teóricos con la experiencia; en otras palabras, son fundamentales en razón de las cualidades intrínsecas de explicación y predicción de las teorías científicas. Si las teorías científicas postulan términos teóricos que, por definición, no pueden ser confirmados de forma directa por la experiencia, entonces, se debe recurrir a estas “reglas de correspondencia”, las cuales funcionan como una especie de “diccionario” que vincula los términos teóricos con esta realidad observable. Estas reglas funcionan, además, como “herramientas” para confirmar teorías. Así, a través de medios empíricos se pueden confirmar teorías (al menos de forma indirecta) que postulan términos estrictamente teóricos.

propio de la teoría (*Calc*). Este último especifica la gramática de los enunciados, así como como las reglas de inferencia (deductivas o no deductivas) pertinentes a los enunciados teóricos.

La estructura lógica de la ciencia, en esta perspectiva sintáctica estaría especificada, entonces, por los términos, los tipos de enunciados y el lenguaje empleado, según atiendan a la base teórica o empírica de las teorías. De esta forma:

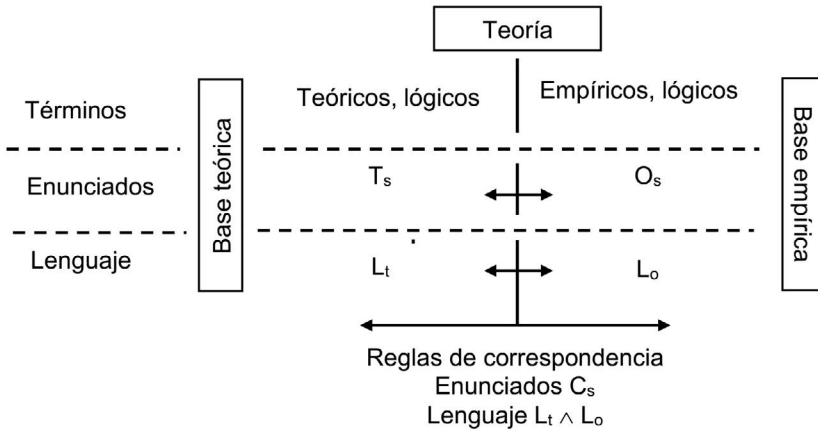


Figura 1. Caracterización lógica de la ciencia según la perspectiva sintáctica

En esta visión sintáctica, los enunciados teóricos (T_s) pueden considerarse como sistemas no interpretados a partir de los cuales, y por medio de *Calc*, pueden derivarse otros enunciados. Al “aplicar” estos sistemas no interpretados a un ámbito en particular, a través de C_s , se obtiene la estructura de un campo de la ciencia específico. El conjunto total de una teoría de un dominio específico involucra, de forma conjunta los O_s . De manera que, en la visión sintáctica se tiene (Winther, 2021):

- $\{Ts\} =$ El sistema sintáctico no interpretado de una teoría (más el cálculo, *Calc*, utilizado).
- $\{Ts, Cs\} =$ La estructura de una teoría con un dominio en particular (por ejemplo, física o economía).
- $\{Ts, Cs, Os\} =$ El conjunto total de una teoría de un dominio particular.

En tanto sistema sintáctico, los enunciados de las teorías pueden separarse, asimismo, en dos categorías distintas: 1) los postulados o axiomas y 2) los enunciados derivados o teoremas. Por consiguiente, en esta perspectiva, las teorías científicas se presentan en forma de sistemas axiomatizados, los cuales poseen una estructura lógica que determina, a su vez, las reglas de inferencia deductiva⁴. De esta manera, la estructura de las teorías es análoga a la de un sistema formal. Afirma Hempel:

Si los términos primitivos y los postulados de un sistema axiomático han sido especificados, entonces la prueba de los teoremas, es decir, la derivación de enunciados subsecuentes a partir de los enunciados primitivos, puede ser llevada a cabo por medio de cánones puramente formales de lógica deductiva y, de esta manera, sin ninguna referencia a los significados de los términos y enunciados en cuestión; efectivamente, para un desarrollo deductivo de un sistema axiomatizado, no es necesario, del todo, asignar algún significado a sus expresiones, primitivas o derivadas. (Hempel, 1958 p. 47)

La concepción *sintáctica* de las teorías afirma que las teorías son conjuntos de enunciados, específicamente los *axiomas* de las mismas. Es decir, una teoría *es* una clase de axiomas. Estos sistemas no interpretados *funcionan como* una teoría científica en la medida en que se puede dar una interpretación con referencia a fenómenos empíricos. La manera en que puede llevarse a cabo este “paso” es a través de “enunciados interpretativos” (Cs) que conectarían el vocabulario teórico con términos observacionales. De igual forma, las teorías científicas se distinguen de los sistemas formales

4 Al equiparar teorías con sistemas axiomatizados, entran en juego, análogamente, términos primitivos y derivados, sus definiciones y, posteriormente los postulados. Los términos primitivos se definen de manera *implícita* en la formulación de los axiomas.

por un lenguaje particular que las caracteriza, a saber, un lenguaje de tipo teórico, lógico y el observacional.

3. Estructura lógica de las teorías: perspectiva semántica

Una tradición posterior a la de la concepción heredada, conocida como posición *semántica* describe y analiza las teorías científicas (su lógica y estructura) mediante recursos conceptuales distintos. En el marco de la tradición semántica es posible identificar diferentes posiciones, pero que comparten el rechazo a la visión de que las teorías son entidades de tipo lingüístico, para adoptar la idea de que las teorías son entidades teórico-conjuntistas, constituidas por varios tipos de modelos, funciones y relaciones. La crítica de la perspectiva semántica al enfoque lingüístico de las teorías contempla varios elementos, de los cuales no nos ocuparemos aquí⁵. Asimismo, esta visión integra algunos de los desarrollos historicistas de la ciencia, surgidos en la segunda mitad del siglo XX. Dentro de esta tradición, destacan varias corrientes y autores como Suppes, Sneed, Stegmüller, Moulines, van Fraassen, Falguera, entre otros. Aquí atenderemos solamente a la concepción *estructuralista* (también conocida como “estructuralismo metateórico”).

Tal y como se ha mencionado, esta visión estructuralista destaca por describir y analizar a la ciencia integrando las caracterizaciones que hicieran algunos programas historicistas, como el de Kuhn o Lakatos, en la segunda mitad del siglo XX. En su afán de clarificar la noción de paradigma, Kuhn, por ejemplo, introduce el concepto de “matriz disciplinar”⁶; la visión de los

5 Suppes, por ejemplo, ha señalado que la formulación lingüística de una teoría no es un aspecto *esencial* de la misma, si no más bien lo que afirma sobre una parte de la realidad. Las teorías, al describir el comportamiento de la realidad de cierta manera, especifican “*modelos*”. Esta noción es fundamental en la perspectiva semántica. En las críticas a la visión sintáctica, también se han mencionado limitaciones intrínsecas de la lógica de predicados para representar estructuras complejas de ciertas teorías, como la teoría de la probabilidad o la geometría. Otras diferencias que distinguen al programa semántico respecto de la concepción heredada han sido destacadas por [Moulines y Diez \(1999\)](#), entre estos elementos sobresalen: a) el rechazo a la división teórico/observacional y su sustitución por la distinción teórico/no-teórico y b) la identificación de vínculos entre modelos (p. 350).

6 Para [Kuhn \(1962\)](#), una matriz disciplinar comprende los compromisos compartidos por un grupo de científicos y, en un sentido restringido, consiste también de los casos y de los problemas concretos de una comunidad de científicos. Entre los componentes de la matriz disciplinar, destacan: 1) las *generalizaciones simbólicas* son las expresiones empleadas por el grupo (sin cuestionarlas) que pueden verse en alguna forma lógica. Son los componentes formales, o fácilmente formalizables de la matriz disciplinar, que podrían no estar interpretados. 2) Los *modelos* son los que le proporcionan al grupo las “analogías preferidas” o, cuando se sostiene a fondo, constituyen una ontología. Los modelos tienen dos tipos de carácter: 1) heurístico; por ejemplo, cuando el comportamiento de un gas puede compararse a una colección de bolas de billar microscópicas, animadas de movimiento aleatorio y 2) metafísico (compromiso metafísico); por ejemplo, cuando se afirma que el calor de

programas de investigación de Lakatos incorpora las nociones “heurísticas”, de hipótesis centrales y auxiliares⁷. Estas visiones historicistas describen a las teorías como entidades con estructuras complejas, sin embargo, para el estructuralismo, adolecen del rigor conceptual y la claridad necesaria para una adecuada reconstrucción racional de la ciencia y, en esa medida, para comprender el carácter y el funcionamiento de las teorías científicas, en el marco de su relación con otras teorías o con su propio desarrollo histórico.

Para el estructuralismo, la caracterización intrínseca de las teorías consiste en una axiomatización mediante definiciones de predicados conjuntistas⁸. Los elementos que conforman esta caracterización son:

- a) La definición del dominio base y las relaciones y funciones (características de la teoría).
- b) La definición de los *axiomas impropios*; aquellos que especifican las propiedades matemáticas del dominio base, relaciones y funciones, a saber: i) los tipos lógicos de las entidades componentes del dominio base, de relaciones y funciones, ii) dominios y contradominios de relaciones y funciones y iii) las propiedades matemáticas más generales.
- c) La definición de los *axiomas propios*, o sea, definir las leyes de la teoría (en el sentido tradicional) mediante las que se relacionan los componentes de la estructura relacional.

un cuerpo es la energía cinética de sus partículas constituyentes. 3) Los *ejemplares* son soluciones a problemas concretos, aceptadas por el grupo como paradigmáticas. La resolución de estos problemas paradigmáticos constituye una parte importante del “entrenamiento” de los estudiantes que se inician en determinado ámbito de la ciencia.

7 Para Lakatos, los programas de investigación científica están constituidos por: 1) Un núcleo central o firme: las hipótesis centrales del programa de investigación y constituyen la base sobre la cual se desarrolla el programa. Por ejemplo, las tres leyes de la mecánica newtoniana y la ley de gravitación. 2) Un cinturón protector: el conjunto de hipótesis auxiliares que protegen el núcleo central del programa. Por ejemplo, si un planeta no se comporta como predice la ley de gravitación, puede formularse una hipótesis que establezca que la órbita está siendo afectada por un cuerpo extraño o por un planeta no descubierto. 3) Una heurística positiva: una serie de procedimientos y de herramientas para la solución de problemas en el marco del núcleo central. Aquí están, por ejemplo, ciertas herramientas matemáticas, las cuales pueden “asimilar las anomalías e incluso las convierte en evidencia positiva” del programa (Lakatos, 1978, p. 13). 4) Una heurística negativa: establecen las rutas de investigación que deben ser evitadas. Protege al núcleo central del programa para que no sea atacado por los contraejemplos y anomalías. Esta heurística negativa impide que se le aplique el *modus tollens* al núcleo firme, es decir, se trata de una exigencia metodológica para mantener intacta esta parte del programa de investigación.

8 Es decir, un predicado teórico-conjuntista sirve para axiomatizar una teoría o caracterizar de manera *intrínseca* una teoría. El recurso formal que se emplea para definir la clase de modelos es el lenguaje de la teoría intuitiva de conjuntos, complementado con los recursos matemáticos propios de la teoría que se está axiomatizando (Moulines y Diez, 1999).

Asimismo, estas teorías están constituidas por dos partes: 1) una parte *formal* y 2) una parte *aplicativa*, vinculadas o relacionadas (y jerarquizadas) entre sí en diversos niveles de especificidad. Estas relaciones se expresan mediante otro concepto importante dentro del estructuralismo, a saber, el de “*red teórica*”, el cual describe la estructura de las teorías en un momento determinado (es decir, desde una dimensión sincrónica). La parte formal de estas redes especifica la parte *formal global* de la teoría, mientras que las partes aplicadas especifican la parte *aplicativa global*. Todos estos son elementos constituyentes de tipo teórico. La parte formal de estos elementos se denomina núcleo (K) y la parte aplicativa, dominio de aplicaciones intencionales (I).

El núcleo (K) expresa las leyes en términos de “modelos”, y no en términos lingüísticos como se hace desde la visión sintáctica. Un modelo es una realización posible de una teoría en la cual esta es satisfecha, es decir, son los sistemas que satisfacen los axiomas impropios y los axiomas propios de la teoría definida mediante un predicado teórico-conjuntista. Este núcleo de la teoría contiene una serie de modelos⁹.

Este núcleo contiene los modelos potenciales (M_p) (o sea, aquellos modelos que solo satisfacen los axiomas impropios, los de tipo lógico matemático, sin atender a qué pase luego de manera específica a sus constituyentes) y los modelos actuales de la teoría (M) (modelos que, además, satisfacen los axiomas propios, las leyes específicas de la teoría, que expresan constricciones no solo de tipo lógico). Los modelos potenciales lo son en la medida en que pueden, en algún momento, llegar a satisfacer las leyes de la teoría. Aquellos que *efectivamente* la satisfacen son los *modelos actuales* (M), de modo que $M \subseteq M_p$ ¹⁰

9 En la medida en que se entiende un “modelo” como “una imagen” es posible, según Suppes, tomarse esa “imagen” (el modelo físico) para “definir el conjunto de los objetos en un modelo conjuntista” (1967). De este modo, un modelo conjuntista abstracto tendrá entre sus partes un conjunto básico que consiste en los objetos pensados como constituyentes del modelo físico. Evidentemente, este modelo conjuntista formal podría representar, entonces, los modelos de las teorías factuales (que, como vimos, es el sentido empleado por Kuhn en su definición de “matriz disciplinar”). La característica especial que permite que estos modelos sean buenas representaciones de las teorías consiste en su *isomorfismo*: cualquier modelo empírico sería isomorfo respecto del modelo abstracto-numérico de la teoría. De esta manera, se pretende mostrar que “la estructura de una serie de fenómenos bajo ciertas operaciones empíricas es la misma que la estructura de algún conjunto de números bajo operaciones aritméticas y relaciones” (Suppes, 1967, p. 59)

10 “ $A \subseteq B$ ” denota la relación de que A es subconjunto de B, es decir, A está incluido en B.

Se afirma, desde el estructuralismo, que los modelos actuales (M) son una parte *restrictiva* de las teorías, en la medida en que limitan la parte lógico-conceptual (Mp) a aquellos modelos que *de hecho* satisfacen las leyes. Pero en la visión estructuralista, existen, además, otros elementos “restrictivos” en este sentido. Uno de estos elementos son las condiciones de ligadura (o *restricciones cruzadas*). Estas restricciones aluden a las relaciones intermodélicas que pueden establecerse en el seno del núcleo K . Pueden considerarse, en estas condiciones de ligadura, ciertas constantes que permiten “transportar” información de un modelo a otro (Moulines y Diez, 1999, p. 353)¹¹

Otro elemento formal del núcleo, en el marco del estructuralismo, lo constituye la denominada *T-teoricidad*. Se denominan conceptos T-teóricos a aquellos que son introducidos por la teoría (es decir, si es un concepto *propio* de la teoría) y es T-no teórico si es un concepto disponible de manera previa a la teoría T (a veces también denominados términos “presupuestos”). De esta manera, un concepto es T-teórico si no es posible determinarlo sin asumir la aplicabilidad de la teoría T; y es T-no teórico si tiene un procedimiento de determinación independiente de T (aunque bien podría ser dependiente de alguna otra teoría)¹².

En el aparato conceptual de la teoría (Mp) se encontrarían, entonces, modelos que solo emplean términos presupuestos (T-no teóricos) y otros modelos que integran términos T-teóricos. A los modelos potenciales que se obtienen de “recortar” los conceptos T-teóricos, se les denomina modelos potenciales parciales (Mpp)¹³. De esta manera, la parte formal del núcleo de las teorías se especifica mediante la tupla $K = \langle Mp, Mpp, M, GC \rangle$, donde Mp es el conjunto de modelos potenciales, Mpp el conjunto de modelos potenciales parciales, M el conjunto de los modelos actuales y GC las condiciones de ligadura.

11 Moulines y Diez (1999) ejemplifican esta idea de ligadura atendiendo a distintos modelos de la mecánica clásica que establezcan la identidad de la masa de un objeto entre ellos. Así, “la condición que define la ligadura de identidad para la masa es la siguiente: ‘para toda partícula p , y modelos potenciales x, y (que tengan a p en su dominio): $mx(p) = my(p)$ ’ (p. 353).

12 Por ejemplo, en la mecánica clásica, los conceptos de “espacio” y “tiempo” serían no teóricos, mientras que los de “fuerza” y “masa” conceptos teóricos.

13 Para Moulines y Diez (1999), estos Mpp se obtienen a partir de aplicar una función de recorte, r , a Mp . Así $Mpp = def r[Mp]$. No es necesario, en esta exposición general, establecer el tipo específico de función. Simplemente atender a que “ $r[]$ ” es una función aplicada a conjuntos de modelos.

El siguiente elemento de importancia en esta caracterización semántica de las teorías, lo constituyen las denominadas “*aplicaciones intencionales*” (I). Se trata de los sistemas empíricos a los que se pretende aplicar (el núcleo de) la teoría. Una aplicación intencional de la mecánica clásica, por ejemplo, puede ser desde el sistema Sol-Mercurio, hasta un sistema particular de engranajes.

En la visión estructuralista, es importante destacar que las aplicaciones intencionales de una teoría se *describen* mediante conceptos T-no teóricos, de modo que estas descripciones si bien pueden estar “cargadas” de teorías, no lo están para la teoría para la que son “datos”. De este modo, cada aplicación pretendida es un modelo potencial parcial, y el conjunto I es un subconjunto de Mpp ($I \subseteq Mpp$). Asimismo, la determinación de I depende de elementos intencionales y paradigmáticos (en el sentido de Kuhn).

Con estos elementos, la perspectiva semántica define la estructura mínima de una teoría. Tal y como se ha indicado, esta noción contiene: 1) un componente *formal*, que establece los recursos conceptuales en distintos niveles y que incluyen las constricciones establecidas en las leyes de la teoría y 2) una parte aplicativa, especificada en términos T-no teóricos, a los cuales se pretende explicar por las leyes de la teoría. De esta manera, una teoría, o un elemento teórico (T), se identifica con el par $T = \langle K, I \rangle$, donde K es el núcleo formal y el dominio de aplicaciones I la parte aplicativa.

De esta manera, el contenido teórico de una teoría corresponde a las condiciones que debe cumplir una teoría al aplicarse a la realidad. De forma específica, las restricciones que se imponen son las leyes y las ligaduras. En otras palabras, el contenido teórico es el efecto combinado de leyes (axiomas propios) y ligaduras (GC).

En la caracterización conjuntista de la metateoría estructuralista, el contenido teórico es, entonces, un conjunto de conjunto de modelos potenciales $P(Mpp)$ tal que sus elementos (los conjuntos): 1) satisfacen las ligaduras y 2) están formados por modelos que satisfacen las leyes de la teoría, es decir, los axiomas propios. Finalmente, el *contenido empírico* constituye las consecuencias empíricas del contenido teórico, esto es, el efecto en un nivel no-teórico de las condiciones restrictivas de la parte formal de la teoría.

4. Conclusión

La estructura lógica de las teorías científicas ha sido caracterizada, en el siglo XX, mediante dos grandes tradiciones, las cuales han permitido identificar algunos elementos fundamentales de estas construcciones teóricas. Por una parte, la perspectiva sintáctica equiparó las teorías científicas con sistemas formales no interpretados, a partir de los cuales era posible derivar, de manera deductiva, teoremas que luego podrían ser corroborados o no por la experiencia. Si bien esta perspectiva otorga un rol importante a la corroboración de postulados y en esa medida, al elemento de la predicción en ciencia, estuvo restringida por la visión (neo) positivista de inicios de siglo XX (resumida en la sección 1). Por esta razón, su caracterización de las teorías científicas adoleció de varios aspectos fundamentales y de uno en especial: se alejó de la *descripción* real de la dinámica histórica de creación de teorías, la cual involucra vínculos interteóricos de muy distinto nivel. Esta perspectiva tampoco pudo atender a diversas críticas surgidas en el marco de su caracterización, sobre todo en su distinción entre “base teórica” y “empírica”, y el papel y el funcionamiento de las “reglas de correspondencia”.

Por otra parte, al integrar elementos interteóricos (tales como las *GC*) en su descripción del núcleo de las teorías, y al renunciar a la descripción de estas como sistemas no interpretados, la perspectiva semántica ha logrado incorporar, de manera formal, algunos de los elementos historicistas que fueron correctamente señalados por autores como Kuhn y Lakatos, pero que habían sido caracterizados solo de manera general. El recurso a la noción de “modelo”, tomado de la teoría de conjuntos, resulta esencial. En el estructuralismo, las teorías no son entidades aisladas unas de otras, sino que mantienen relaciones entre sí. En esa medida, los vínculos interteóricos también contribuyen a identificar y delimitar las teorías.

Por esta misma razón, las teorías tampoco son “independientes de la realidad”. Al final de cuentas, desde el estructuralismo es posible pensar que los formalismos de la ciencia también se relacionan con la naturaleza “por arriba” o, en otras palabras, que el contenido empírico en las teorías formalizadas se introduce tanto “*por arriba como por abajo*”. Esta es, de forma clara, una posición crítica respecto de la idea de entender las teorías científicas como “sistemas formales no interpretados” que solo luego se “conectan” con la realidad.

Aunque es una tradición y perspectiva vigente en la actualidad, la visión semántica no agota, por supuesto, las discusiones contemporáneas acerca del carácter y la naturaleza de las teorías científicas. Si bien esta caracterización permite la descripción diacrónica de teorías, parece dejar por fuera (u obviar) sus elementos no-formalizables. Podría pensarse que estos componentes no-formales son relevantes en la descripción de teorías. Se trata de elementos que, precisamente, fueron destacados en los programas historicistas, pero que la perspectiva estructuralista, y la visión semántica general, no recoge. Algunas críticas y señalamientos, en este sentido, han sido planteadas en la actualidad, por interpretaciones y caracterizaciones de la ciencia en términos pragmatistas.

Referencias

- Bunge, M. (2002). *Epistemología. Curso de actualización*. (3.ª edición). México: Fondo de Cultura Económica.
- Carnap, R. (1988). *La construcción lógica del mundo*. México: Universidad Autónoma de México.
- Hempel, C. G. (1958). *The theoretician's dilemma: a study in the logic of theory construction*. University of Minnesota Press, Minneapolis. Recuperado de University of Minnesota Digital Conservancy, <https://hdl.handle.net/11299/184621>.
- Kuhn, T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. (8.ª reimpresión). México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1978). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Marcos, A. (2010). *Ciencia y acción. Una filosofía práctica de la ciencia*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Moulines, C. U., y Diez, J. A. (1999). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel.
- Popper, K. (1980). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Reichenbach, H. (1938/1961). *Experience and Prediction. An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago: Phoenix Books the University of Chicago Press
- Rescher, N. (1999). *Razón y valores en la Era científico-tecnológica*. Barcelona: Paidós.
- Sneed, J. D. (1971). *The logical structure of Mathematical physics*. Dordrecht: Reidel.
- Stegmüller, W. (1979). *The structuralist view of theories*. Berlin: Springer.
- Suppes, P. (1967). What is a scientific theory? En: *Philosophy of Science Today*. New York: Basic Books, pp. 55-67.
- Winther, R. G. (2021). The Structure of Scientific Theories, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2021 Edition), Edward N. Zalta (Ed.), Recuperado de: [<https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/structure-scientific-theories/>](https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/structure-scientific-theories/).
- Wittgenstein, L. (1921/2003). *Tractatus Logico-Philosophicus*. Madrid: Alianza.