

## LA CONCEPCIÓN SEMÁNTICA DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS<sup>1</sup>

José A. Díez Calzada  
Universitat Rovira i Virgili

La filosofía de la ciencia surge como disciplina con especificidad propia en el período de entreguerras y se consolida tras la llegada a EEUU de los principales filósofos neopositivistas centroeuropeos. En su desarrollo desde entonces, ha pasado por tres etapas principales: (1) período clásico, hasta finales de los años sesenta, en el que se establece la llamada *Concepción Heredada* (Carnap, Reichenbach, Popper, Hempel, Nagel, etc.); (2) período historicista, iniciado en los sesenta y dominante durante los setenta y principios de los ochenta (Hanson, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, etc.); (3) período semanticista, se inicia a finales de los setenta y se extiende hasta nuestros días. En cada uno de estos períodos prevalece una determinada concepción de la naturaleza y estructura de las teorías científicas, respectivamente: (1) concepción axiomática, las teorías como sistemas axiomáticos empíricamente interpretados; (2) concepción historicista, las teorías como proyectos de investigación; (3) concepción semántica, las teorías como entidades modelo-teóricas. Las dos primeras concepciones son familiares a filósofos y científicos desde hace algún tiempo. Desarrollada durante los ochenta y plenamente asentada en la presente década, la concepción semántica se puede contemplar ya con suficiente perspectiva histórica. La finalidad de este trabajo es realizar una primera revisión y evaluación globales de esta concepción, de su origen y

---

<sup>1</sup> Este trabajo participa de los proyectos de investigación PB92-0846-C06-06 y PB93-0655 de la DGICYT. Parte del material, modificado y ampliado, se incluye en la obra *Filosofía de la Ciencia*, escrita en colaboración con C. U. Moulines, que aparecerá próximamente.

Éndoxa: Series Filosóficas, n° 8, 1997, UNED, Madrid:  
José A. Díez Calzada: *La concepción semántica de las teorías científicas*  
pp. 41-91.

evolución, de las principales versiones y de sus contribuciones más destacadas.

### 1. *Introducción. La herencia historicista.*

La incidencia de los *nuevos filósofos* en la filosofía de la ciencia fue decisiva. La irrupción de la perspectiva historicista que en general les caracteriza marca definitivamente el desarrollo de la reflexión metacientífica posterior. La influencia más determinante afecta quizás a cuestiones como la importancia de los estudios históricos y de los determinantes sociales, el problema de la carga teórica de los hechos y la problema de la inconmensurabilidad, las nociones de progreso y racionalidad científicos, o el problema del relativismo. Sin embargo, a la mayoría de sus tesis subyace, sin implicarlas estrictamente, una nueva visión de la naturaleza y estructura de las teorías científicas, más realista y más fiel a la naturaleza de la actividad científica tal como la historia nos las presenta. En mi opinión, y sin desmerecer sus otras aportaciones, es esta nueva noción de teoría empírica, aunque todavía muy imprecisa, donde radica su mayor contribución a la disciplina. Sus estudios diacrónicos presuponen una visión radicalmente nueva de la estructura *sincrónica* o *estática* de las teorías científicas. Los principales rasgos de esta nueva noción de teoría son los siguientes.<sup>2</sup> Las teorías científicas, en su dimensión sincrónica:

- (1) Son entidades sumamente complejas y dúctiles, susceptibles de evolucionar en el tiempo sin perder su identidad. Aunque la idea de que las teorías son entidades que se extienden en el tiempo a través de diferentes estadios no es un descubrimiento de estos filósofos, sí fueron los primeros en dar a ese hecho todo su valor.
- (2) No son enunciados o secuencias de enunciados y en un sentido propio no pueden calificarse de verdaderas o falsas, aunque con ellas sí se realizan afirmaciones empíricas verdaderas o falsas.

---

<sup>2</sup> Lo que sigue es apenas una enumeración de los principales rasgos; para una revisión detenida de las fuentes de estas contribuciones, cf. p.e. Díez 1989.

(3) Tienen, al menos, un componente formal, teórico o conceptual (las leyes o hipótesis) y otro empírico o aplicativo (los sistemas a que se pretende aplicar).

(4) Cierta parte de cada uno se considera intocable por decisión metodológica (núcleo). Las teorías tienen pues partes "esenciales" y partes "accidentales", en ello radica su ductilidad. El aparato formal se articula en niveles progresivamente cada vez más específicos o restrictivos, que da cuenta de situaciones empíricas también específicas. A veces se denomina 'teoría', en un sentido más restrictivo, a estos desarrollos concretos del formalismo (p.e., la teoría de los osciladores armónicos).

(5) Tienen diversos niveles de empiricidad. Parte de la teoría conceptualiza los hechos y parte explica, y se contrasta con, lo así conceptualizado.

(6) Es la parte específica, "accidental" del formalismo el que recibe el peso de la contrastación. Ante una contrastación negativa, el núcleo siempre se puede salvaguardar modificando los elementos no nucleares.

(7) Llevan asociadas normas, valores, o simplemente indicaciones, metodológicas y evaluativas, algunas de ellas fuertemente dependientes del contexto.

La principal deficiencia de esta nueva caracterización es su imprecisión, en ocasiones tan extrema que termina por difuminar casi totalmente lo que parecen intuiciones correctas. El principal motivo de los positivistas para desarrollar una filosofía formal de la ciencia es justamente eludir el discurso metacientífica vago e impreciso. Y gran parte de las polémicas que surgen tras la irrupción de los nuevos filósofos son generadas en gran medida por la imprecisión y equívocidad de algunas de sus nociones centrales.

El efecto de la irrupción historicista durante los sesenta y principios de los setenta fue doble. Por un lado, la mayoría de los filósofos de la ciencia sensibles a esta nueva perspectiva concluyeron que la complejidad y riqueza de los elementos involucrados en ella escapa a cualquier intento de formalización. No sólo las

formalizaciones al estilo de la Concepción Heredada son totalmente inadecuadas para expresar estas entidades en toda su complejidad, sino que no parece razonable esperar que cualquier otro procedimiento de análisis formal pueda capturar los elementos mínimos de esta nueva caracterización. Esta es la moraleja antiformalista que se extendió en muchos ambientes metacientíficos tras la *revuelta historicista*. Como consecuencia, a la estela de estos filósofos se desarrolla toda una rama de los *science studies* (con importantes, aunque puntuales, antecedentes antes de los sesenta) que se centra en el estudio de los determinantes sociales de la ciencia apoyándose en una considerable investigación empírica. Esta línea de investigación culmina con el asentamiento durante los ochenta de la sociología de la ciencia como disciplina.

Esta no fue sin embargo la reacción en toda la comunidad, metacientífica. Tras la resaca de los primeros efectos antiformalistas, algunas de las corrientes más recientes en filosofía de la ciencia muestran que al menos parte de los nuevos elementos señalados son susceptibles de un razonable análisis y reconstrucción formales. Asimiladas las contribuciones incuestionables de los historicistas y expurgados sus principales excesos, se recupera durante los setenta la confianza en la viabilidad de los análisis formales o semiformales de la ciencia, al menos en algunos de sus ámbitos, entre ellos el relativo a la naturaleza de las teorías. A finales de los setenta y en los ochenta, aunque algunas versiones venían desarrollándose desde bastante antes, se extiende y acaba imponiéndose en general una nueva caracterización de las teorías científicas que se ha denominado *Concepción Semántica de las Teorías*. En realidad no se trata de una única concepción sino de una familia de ellas que comparten algunos elementos generales relativamente unitarios en comparación con las caracterizaciones de la Concepción Heredada. A esta familia pertenecen Suppes, su pionero en los cincuenta, y su escuela de Stanford; Van Fraassen, Giere y Suppe en EEUU; Dalla Chiara y Toraldo di Francia en Italia; Przelecki y Wójcicki en Polonia; y la *concepción estructuralista*

de las teorías, iniciada en EEUU por Sneed y desarrollada en Europa, principalmente, por Stegmüller, Moulines y Balzer.

Aquí vamos a presentar, en primer lugar, la motivación principal que acompaña a esta nueva concepción, así como los rasgos más generales comunes a las diferentes versiones. A continuación, veremos los orígenes del enfoque modelístico en los trabajos fundacionales de Suppes y la contribución esencial de un miembro de su escuela, E. Adams. Después repasaremos brevemente los elementos más destacados de cada uno de los principales enfoques vinculados a la familia semántica: van Fraassen, Suppe, Giere y el estructuralismo. Nos detendremos especialmente en el estructuralismo pues es quien más ha desarrollado la estructura fina de las teorías. Esta revisión mostrará que en el estructuralismo se recogen y se expresan de modo preciso los nuevos elementos sobre los que llamaron la atención los historicistas.

## 2. Teorías, enunciados y modelos.

La Concepción Heredada concebía las teorías empíricas como cálculos axiomáticos parcialmente interpretados. Las leyes de la teoría (aquellas leyes que no se deducen de otras) son los *axiomas*, los enunciados básicos primitivos de la teoría. Los términos no lógicomatemáticos con los que se formulan los axiomas son los *términos teóricos* primitivos. De estos axiomas formulados con el vocabulario teórico primitivo se deducen como teoremas el resto de afirmaciones teóricas. A veces se pueden introducir términos teóricos adicionales mediante definiciones, con cuya ayuda se abrevian algunos teoremas; pero los términos definidos son *eliminables*, son meras abreviaturas notacionales. Este es el esquema básico de toda teoría axiomática. Pero si la teoría es empírica y no meramente matemático-formal, debe haber una conexión de los términos teóricos, introducidos por el cálculo axiomático, con situaciones empíricas. Esta conexión se realiza mediante ciertos enunciados que vinculan los términos teóricos, p.e. 'temperatura', con términos preteóricos *observacionales*, p.e. 'ascender' o 'líquido'. Estos

enunciados que, además de los axiomas, forman también parte de la teoría son las denominadas *reglas de correspondencia*, p.e. 'al aumentar la temperatura asciende la columna de líquido'. Mediante las reglas de correspondencia se cargan de contenido empíricos los términos del formalismo axiomático abstracto.

Este breve recordatorio es suficiente para apreciar la principal motivación del nuevo enfoque semántico. El slogan de las concepciones semánticas es: las teorías no se identifican metateóricamente con conjuntos de enunciados; presentar una teoría no es presentar una clase de axiomas, presentar una teoría es presentar una clase de modelos. Un modelo, en su acepción informal mínima, es un sistema o "trozo de la realidad" constituido por entidades de diverso tipo que *realiza* una serie de afirmaciones, las realiza en el sentido de que en dicho sistema "pasa lo que las afirmaciones dicen" o, más precisamente, las afirmaciones son verdaderas en dicho sistema. P.e., si tomamos los principios monárquicos más generales, entonces España y Bélgica, Suecia, etc., en tanto que sistemas o "partes de la realidad", son modelos de dichos principios, y Francia y Italia no lo son; si añadiéramos algunos principios monárquicos adicionales, quizás España y Bélgica seguirían siendo modelos de ellos, pero quizás Suecia ya no; y si añadimos todavía más, a lo mejor sólo España es modelo de ellos. O más propiamente para nuestro tema, si tomamos la segunda ley de Newton, hay varios sistemas o trozos de realidad en los que es verdadera, p.e. un cuerpo cayendo en la superficie terrestre, un planeta girando en torno al sol, un péndulo, etc. Esta idea intuitiva se puede precisar de diversos modos, el más usual es el que corresponde a la Teoría de Modelos: el sistema se expresa formalmente mediante una secuencia de conjuntos, el primero contienen los individuos del sistema y los restantes son relaciones y funciones entre dichos individuos. Puesto que la noción de modelo es una noción fundamentalmente semántica (algo es modelo de una afirmación si la afirmación es *verdadera* de ello), se denomina *concepción semántica* a este nuevo enfoque que enfatiza la importancia de los modelos en el análisis de la ciencia; contra-

riamente, la concepción clásica es calificada de *sintáctica* por su caracterización de las teorías como conjuntos de enunciados y por su énfasis general en los aspectos lingüístico-sintácticos. El slogan mencionado expresa por tanto el carácter distintivo frente a la concepción sintáctica clásica. Pero apreciar en su justa medida cuál es ese carácter distintivo no es fácil. Para ello comenzaremos revisando un aspecto de la concepción sintáctica que es claramente insatisfactorio. El enfoque semántico es en parte un intento de mejorar la concepción clásica en ese punto.

Para apreciar el elemento insatisfactorio más notorio de la concepción sintáctico-axiomática, es imprescindible tomársela en serio, tomarse en serio la *identificación* de una teoría con una serie de enunciados, los axiomas (ahora no distinguimos entre axiomas y reglas de correspondencia, pues esa distinción no afecta a la cuestión que aquí se trata). Según esta concepción, una teoría *es* una clase de axiomas, y si nos tomamos eso en serio ello implica que *toda* diferencia en axiomas supone una diferencia *de* teorías. Puesto que dos axiomatizaciones diferentes son dos diferentes clases de enunciados, tenemos dos teorías diferentes. Esta es una consecuencia intuitivamente insatisfactoria, pues podemos tener dos axiomatizaciones diferentes de, intuitivamente, "la misma teoría"; parece intuitivamente razonable que pueda haber axiomatizaciones diferentes de una misma teoría. Si eso es así, una teoría no puede *ser* un conjunto de axiomas, no se representa metateóricamente de forma satisfactoria *identificándola* con un conjunto tal.

Se dirá que eso es ser demasiado rigurosos, poco caritativos con la concepción clásica. Después de todo, ya se reconocía que si dos axiomatizaciones diferentes coinciden en el conjunto de sus teoremas, se trata *en cierto sentido*, no de dos teorías diferentes equivalentes sino de dos axiomatizaciones equivalentes de la misma teoría. El problema es que la caracterización de las teorías que hace esa concepción no es el mejor modo de expresar ese cierto sentido, no puede expresarlo satisfactoriamente. Quizás se piense que sí, pues en muchas presentaciones de la concepción clásica se dice que una teoría es el conjunto de afirmaciones

primitivas *más todas sus consecuencias*. Pero, si se mantiene un papel esencial para los axiomas, eso no resuelve el problema. Incluso si incluimos la referencia explícita a las consecuencias, dos conjuntos diferentes de axiomas-junto-con-sus-consecuencias siguen siendo entidades diferentes aunque las consecuencias sean las mismas, pues simplemente los conjuntos de axiomas son diferentes. La única posibilidad es prescindir totalmente, en la individualización de las teorías, de la referencia a los axiomas, identificando la teoría simplemente con el conjunto de las consecuencias. Sin embargo, así planteada esta opción se compadece mal con el "axiomatismo" que inspiraba a la Concepción Heredada. En parte, la concepción semántica consiste en expresar el núcleo de esta idea *de un modo adecuado*, un modo que no hace desempeñar a los enunciados un papel esencial en la identidad de las teorías. Nótese que el problema con la Concepción Heredada no es que quiera sostener una idea inadecuada, no es que *pretenda* que dos teorías con el mismo vocabulario que "digan lo mismo", e.e. con las mismas consecuencias, sean diferentes; el problema es que en su versión sintáctico-axiomática expresa inadecuadamente una intuición correcta, a saber, que en tales casos se trata de una única teoría.

El modo de en que la concepción semántica va expresar las intuiciones contenidas ya en la Concepción Heredada surge de tomarse en serio el hecho de que dos axiomatizaciones diferentes pueden serlo de la misma teoría. ¿Por qué lo son de la misma teoría? Porque el conjunto total de las cosas que dicen de cierta parcela del mundo es el mismo, porque la manera en que según ambas dicha parcela se comporta es la misma. Lo que importa de una teoría, lo que la identifica, es lo que dice sobre el comportamiento de determinada parcela de la realidad, no cómo lo dice. Lo esencial es que caracteriza ciertos trozos de la realidad como comportándose de cierto modo. Esto es, que determina ciertos modelos. Si dos axiomatizaciones lo son de lo mismo, lo son porque ambas determinan la misma clase de modelos o realizaciones. Lo importante es pues qué modelos determina una teoría, no los recursos lingüísticos que emplea para ello. De ahí el slogan de

la concepción semántica: presentar una teoría es presentar una clase de modelos, no de axiomas.

Se dirá que no es necesario recurrir a los modelos, que apelando sólo al conjunto total de las consecuencias de los axiomas tenemos una vía "sintáctica" equivalente. Pero usar esta versión nos mantiene en el plano sintáctico sólo aparentemente; esta es la razón por la que hemos indicado que esta opción se compeadece mal con el espíritu sintacticista propio de la Concepción Heredada. La clave es que apelar a las consecuencias es apelar implícitamente a los modelos, la noción de consecuencia introduce subrepticamente la de modelo: un enunciado es consecuencia de otros si todos los modelos de éstos son modelos de aquél. Por tanto, si queremos expresar la idea de que mediante axiomas diferentes podemos capturar la misma teoría, debemos hacer necesariamente referencia, explícita o implícitamente, a los modelos. Si es así, lo mejor y más clarificador es hacerlo desde el comienzo: una teoría se caracteriza por determinar una clase de modelos, y su identidad está vinculada a tal clase.

Es importante comprender que esta opción no supone, ni pretende, prescindir de los enunciados o, en general, de las formulaciones lingüísticas; no pretende que los recursos lingüísticos son superfluos para la caracterización metateórica de las teorías. Por supuesto que para determinar o definir una clase de modelos hace falta un lenguaje. Los modelos, en la medida en que en el análisis metateórico se determinen explícita y precisamente, se determinan dando una serie de axiomas, principios o leyes, esto es, mediante enunciados. Nadie pretende negar tal cosa. Lo único que se pretende es que los conceptos relativos a modelos son más provechosos para el análisis filosófico de las teorías científicas, de su naturaleza y funcionamiento, que los relativos a enunciados. Que la naturaleza, función y estructura de las teorías se comprenden mejor cuando su caracterización, análisis o reconstrucción metateórica se centra en los modelos que determina, no en un particular conjunto de axiomas o recursos lingüísticos mediante los que lo hace. Efectivamente la determinación de los modelos se

realiza mediante una serie de axiomas, pero la identidad de la teoría no depende de esas formulaciones lingüísticas específicas. Si se quiere, la formulaciones lingüísticas son esenciales en el sentido (trivial) de ser el medio necesario para la determinación de los modelos (¿cómo va a ser de otro modo?), pero en el sentido verdaderamente importante no lo son, pues nada en la identidad de una teoría depende de que la formulación lingüística sea una u otra. Resumiendo: "De acuerdo con la concepción semántica, presentar una teoría es presentar una familia de modelos. Esta familia puede ser descrita de varios modos, mediante enunciados diferentes en lenguajes diferentes, y ninguna formulación lingüística tiene ningún estatuto privilegiado. Específicamente, no se atribuye ninguna importancia a la axiomatización como tal, e incluso la teoría puede no ser axiomatizable en ningún sentido no trivial" (van Fraassen 1989 p. 188).

El enfoque semántico, que enfatiza la referencia explícita a los modelos, más que a los enunciados, puede parecer una mera revisión del enfoque sintáctico propio de la Concepción Heredada. Es efectivamente una revisión, pues pretende expresar más adecuadamente una idea ya contenida en la concepción anterior, aunque insatisfactoriamente expresada. Pero no es una mera revisión si con ello se quiere sugerir que se trata de una revisión sin importancia. En cuanto conceptualización más satisfactoria de una idea esencialmente correcta pero insatisfactoriamente conceptualizada con anterioridad, ejemplifica el tipo de progreso al que se puede aspirar en filosofía. Esta reconceptualización genera inmediatamente otras subsidiarias vinculadas a la idea central, lo que permite reorientar algunos problemas que más dificultades habían planteado a la Concepción Heredada. Uno de ellos será el relativo a la vinculación de los conceptos teóricos con la experiencia. La Concepción Heredada sostiene que ese vínculo se establece a través de *enunciados*, las reglas de correspondencia, que conectan términos teóricos con términos que, pretendidamente, refieren a entidades directamente observables. Esta cuestión había suscitado todo tipo de problemas y el propio Hempel acaba rechazando la

idea de que el vehículo de conexión empírica es lingüístico. En la perspectiva sintacticista clásica pocas alternativas quedan. Veremos que la referencia a los modelos, característica de la concepción semántica, va a permitir dar una nueva orientación a esta cuestión.

Hasta aquí la motivación y justificación del cambio de estrategia que caracteriza a las concepciones semánticas. En cuanto al desarrollo de esta estrategia, cada miembro de la familia lo hace de un modo específico, no sólo técnicamente sino que también difieren en cuestiones filosóficas fundamentales. No comparten pues una serie de tesis filosóficas sustantivas, sino un modo y un marco en el que plantear los problemas filosóficos. Lo mismo ocurría en el seno de la Concepción Heredada, donde el acuerdo general sobre el enfoque axiomático era compatible con diferencias radicales en temas filosóficos sustantivos, como el del realismo, la explicación o la causalidad. Sin embargo, a pesar de sus diferencias, las diversas caracterizaciones de la noción de teoría que se hacen dentro de la familia semántica tienen algunos elementos comunes:

(1) Una teoría se caracteriza en primer lugar, como hemos visto, por determinar un conjunto de modelos; presentar-identificar una teoría es presentar-identificar la familia de sus modelos característicos. La determinación de los modelos se realiza mediante una serie de principios o leyes. Las leyes se deben entender, por tanto, como definiendo una clase de modelos: "x es un sistema ... [un modelo de la teoría \_\_\_]  $\text{sys}_{\text{def}} \varphi(.x.)$ ", donde  $\varphi$  expresa las leyes en cuestión. Que esto sea una definición, que las leyes definan los modelos, no significa por supuesto que una teoría sea una definición, o que vaya a ser verdadera por definición, o cosas parecidas. Que las leyes definen una serie de modelos significa sólo que las leyes determinan qué entidades son las que se comportan de acuerdo con la teoría; por ejemplo, cierta entidad, cierto pedazo del mundo, es "por definición" un sistema mecánico si y sólo si cumple tales y cuales principios.

(2) Una teoría no sólo determina, a través de sus leyes, una clase de modelos. Si sólo hiciera eso, poco tendríamos. Ya sabemos, p.e.,

qué es en abstracto un sistema mecánico. ¿Qué hacemos sólo con ello? Nada, definimos los sistemas mecánicos para algo más, quizás, p.e., para explicar el comportamiento del par de objetos Tierra-Luna. Una teoría determina una clase de modelos para algo, para dar cuenta de ciertos datos, fenómenos o experiencias correspondientes a determinado ámbito de la realidad. Parte de la identificación de la teoría consiste entonces en la identificación de esos fenómenos empíricos de los que pretende dar cuenta.

(3) Una vez identificados los modelos teóricos abstractos y los fenómenos empíricos de los que se pretende dar cuenta, tenemos lo esencial de la teoría. Lo que hace la teoría es definir los modelos con la pretensión de que representan adecuadamente los fenómenos, esto es, con la pretensión de que los sistemas que constituyen los fenómenos de que queremos dar cuenta están entre los modelos de la teoría; en términos tradicionales, que tales fenómenos concretos satisfacen las leyes de la teoría, que se comportan como las leyes dicen. Esta pretensión se hace explícita mediante un acto lingüístico o proposicional, mediante una *afirmación*, la afirmación o aserción "empírica" de la teoría. La aserción empírica afirma que entre los sistemas empíricos reales de que queremos dar cuenta y los modelos determinados por las leyes se da cierta relación. Esta relación puede ser de diversos tipos, más fuertes o más débiles, según las versiones. Puede ser la identidad, e.e. que los sistemas empíricos son literalmente algunos de los modelos; o la aproximación, e.e., que los sistemas empíricos se aproximan (en un sentido que hay que precisar) a los modelos; o de subsunción, e.e., que los sistemas empíricos son subsumibles (en un sentido que hay que precisar) bajo los modelos. Pero más allá de los detalles, importantes como veremos, lo esencial es que expresa la pretensión de que nuestra teoría representa adecuadamente la realidad, esto es, que nuestros modelos se "aplican bien" a los sistemas a explicar. Así es cómo la teoría dice cómo es el mundo, esos pedazos del mundo de que quiere dar cuenta en su ámbito de aplicación específico. Dice que el mundo es de cierto modo al afirmar que ciertos sistemas empíricos específicos son (o se

aproximan a, o se subsumen bajo) modelos de los que ella ha definido; "el mundo", los sistemas empíricos, se comporta de "ese" modo.

Es importante enfatizar el hecho de que esta aseveración simplemente hace explícita una pretensión ya contenida implícitamente en el par "<modelos definidos, fenómenos>". Es importante para no confundirse en cuestiones importantes, como la contrastación. Algunos representantes de la concepción semántica tienden a identificar las teorías con la aseveración empírica, o a incluir la aseveración en la identidad de la teoría. Pero, como se verá, hay buenos motivos para no identificar una teoría con su aseveración empírica. Hacer eso oscurece la naturaleza estructuralmente muy compleja de las teorías, complejidad que es preciso que se refleje claramente en la noción de teoría para dar cuenta de algunos hechos fundamentales, entre otros los enfatizados por los historicistas. Es más adecuado identificar las teorías con esos pares de conjuntos de modelos (en realidad, como veremos, con secuencias un poco más complejas de conjuntos de modelos). Si las identificamos así es obvio entonces que, en un sentido estricto, las teorías no son entidades susceptibles de ser verdaderas o falsas, pues un par (una secuencia) no es una entidad a la que quepa atribuir con sentido los predicados *verdadero* y *falso*. Es cierto pues que, si las identificamos de ese modo, estrictamente las teorías no son verdaderas ni falsas. Pero nada filosóficamente sustantivo se deriva sólo de ello. Las teorías, esos pares, llevan biunívocamente asociadas entidades que sí son susceptibles de ser verdaderas o falsas, a saber, sus aseveraciones empíricas. Por tanto, aunque no cabe atribuir primariamente valores veritativos a las teorías, sí cabe atribuírselos *derivativamente*: una teoría es "derivativamente verdadera" si y sólo si su aseveración empírica es verdadera. Y este sentido derivativo es suficientemente importante desde el punto de vista filosófico.

Insistir en que las teorías deben ser, o incluir esencialmente, aseveraciones puesto que *decimos* que son verdaderas o falsas, no es un argumento suficiente si hay buenas razones para no identificar-

las de ese modo. Pero del hecho de que no se identifiquen con entidades proposicionales no se pueden extraer conclusiones apresuradas sobre problemas filosóficos sustantivos relativos a la "verdad" de las teorías. Por ejemplo, si hay cierto sentido interesante en el que las teorías no son falsables, no es porque no sean entidades a las que no cabe atribuir los predicados verdadero o falso. No cabe atribuirse primariamente, pero sí derivativamente y con ello es suficiente para el sentido importante de falsar: si la aserción es falsa la teoría queda "falsada" en el sentido de que no todo puede permanecer igual. Si no son falsables será, quizás, porque entendemos entonces por teoría sólo la parte esencial, el núcleo lakatosiano que siempre se puede mantener indemne a costa de suficientes reformas en la parte accidental, el cinturón protector de hipótesis específicas.

Una última advertencia antes de ver algunas de las versiones de la familia semántica. Al caracterizar los elementos generales compartidos de esta familia, hemos hecho constante y central referencia a los modelos. Debe quedar claro que cuando hemos hablado aquí de modelos nos referíamos a la noción informal. Las diversas versiones de la concepción semántica discrepan, entre otras cosas, en la naturaleza precisa de esas entidades a las que denominan modelos y cuya determinación identifica a una teoría. Para Suppes y la concepción estructuralista, se trata de modelos en sentido de la Teoría de Modelos, para Van Fraassen y Suppe son lo que ellos denominan *espacios de estado*, para Giere son modelos en cualquier sentido informal aceptable del término.

### 3. La noción de teoría de Suppes.

Patrick Suppes es el primero en criticar la práctica general de la Concepción Heredada de identificar las teorías con determinadas formulaciones lingüísticas. En pleno apogeo de la Concepción Heredada y de su enfoque sintáctico-axiomático, Suppes plantea ya en los cincuenta las principales objeciones que, como acabamos de ver, se le pueden hacer. Como alternativa a la axiomatización clásica, desarrolla un programa alternativo de axiomatización de

teorías científicas con el que se inaugura el enfoque semántico. Su propuesta es desarrollada por él mismo y algunos de sus discípulos de Stanford (cf. Mckinsey, Sugar y Suppes 1953 y Suppes 1957 cap. 12, 1967 y 1970); en este desarrollo E. Adams tiene una posición especialmente destacada al contribuir con una modificación esencial a la propuesta original de Suppes. Durante cierto tiempo, sin embargo, ese nuevo enfoque no recibe general atención y queda reducido a la llamada *escuela de Stanford*. Es a finales de los sesenta y principalmente durante los setenta, una vez superados los momentos más radicales de la revuelta historicista de los sesenta, cuando la propuesta modelista iniciada por Suppes se extiende entre la comunidad metacientífica y es aceptada en sus aspectos más generales.

El nuevo procedimiento de axiomatización consiste en la introducción de lo que Suppes llama un *predicado conjuntista*: "axiomatizar una teoría es definir un predicado conjuntista". En esencia, un predicado tal es una manera específica de definir una clase de modelos. En este caso, tal manera se caracteriza básicamente por entender los modelos en el sentido técnico de la teoría de modelos, como sistemas o estructuras constituidas por una serie de dominios básicos y relaciones y funciones sobre ellos. El recurso formal que se utiliza para definir la clase de modelos es entonces el lenguaje semiformal de la teoría intuitiva de conjuntos, completado con todos los recursos matemáticos necesarios propios de la teoría que se está axiomatizando, p.e. para la mecánica clásica se usan en la axiomatización conceptos del análisis. El lema de Suppes es que "el instrumento para axiomatizar las teorías científicas no es la metamatemática sino la matemática".

En esta propuesta hay que distinguir dos contribuciones, ambas importantes pero diferentes. Una es la propuesta de caracterizar una teoría definiendo una clase de modelos. Otra es la precisión de la noción de modelo en términos de secuencias de entidades conjuntistas de cierto tipo y la estrategia vinculada de determinar los modelos mediante el lenguaje conjuntista adecuadamente enriquecido. La primera es más general que la segunda, se puede

concordar con Suppes en el enfoque modelista general pero discrepar en el desarrollo específico del mismo; de hecho eso es lo que hacen algunos miembros de la familia semántica. Eso no quiere decir que la segunda contribución no sea importante. Para Suppes, y para los que le siguen también en esto, la técnica conjuntista es mucho más dúctil y manejable que la clásica, permitiendo reconstruir efectivamente teorías interesantes de la ciencia real. En la perspectiva clásica, el recurso formal para la axiomatización es exclusivamente la lógica de primer orden, por lo que si observamos estrictamente tal restricción la axiomatización de una teoría física matematizada contiene como parte la axiomatización de toda la matemática que presupone, algo que distaba mucho de estar realizado, incluso de ser prácticamente realizable. Por ello, los ejemplos de axiomatizaciones que se manejan casi siempre en la Concepción Heredada son maquetas muy simples y poco interesantes, que no se corresponden con teorías científicas usadas realmente por los científicos.

Un predicado teórico conjuntista es un predicado del tipo "x es un sistema  $\_\_$  syssdef  $\phi(..x..)$ " donde  $\phi$  especifica:

(1) Las entidades que componen x, que es una estructura o secuencia de conjuntos y relaciones y funciones sobre ellos.

(2) (i) Los tipos lógicos de las entidades componentes de x, esto es, si se trata de dominios de objetos, de relaciones o de funciones; (ii) su constitución relativa, esto es, los dominios y contradominios de las relaciones y funciones; (iii) sus propiedades matemáticas, esto es, si ciertos conjuntos son finitos, o infinitos numerables, o si cierta función es continua, etc. Los axiomas mediante los que se hacen estas caracterizaciones son meras tipificaciones, son por tanto axiomas *sui generis*, o como diremos después, *axiomas impropios*. No imponen restricciones efectivas a las estructuras, simplemente nos dicen de qué tipo de entidades están constituidas, qué propiedades matemáticas tienen y cuáles son las relaciones lógicas de constitución entre ellas.

(3) Condiciones restrictivas no puramente constitutivas o lógicas. Esto es, se trata de *axiomas en sentido propio* que tienen un efecto

constrictivo. A las estructuras que satisfacen las condiciones definicionales de (2) se les impone ahora como condiciones adicionales las leyes, en sentido tradicional, de la teoría. Son efectivamente restrictivas porque las cumplirán sólo algunas de las estructuras especificadas en (2), otras no. Muchas veces tendrán la forma de relaciones entre varias de las entidades; por ejemplo, si en la estructura hay dos operaciones, una de estos axiomas propios puede exigir que una sea distributiva respecto de la otra. Pero a veces pueden afectar a un sólo componente; por ejemplo, se puede exigir que cierta operación sea asociativa. Para fijar las ideas, reproducimos como ejemplo la definición del predicado "x es un sistema de mecánica de partículas" (cf. Suppes 1957, cap. 12 §5, parcialmente modificado en Adams 1959; la presente es una versión mixta, con algunas simplificaciones notacionales que suponen algunas deficiencias técnicas, sobre todo en (8), pero es suficiente para los actuales fines ilustrativos).

Definición:  $x$  es un sistema de mecánica (newtoniana) de partículas  $\text{sys}_{\text{def}}$  existen  $P, T, s, m, f$  tales que:

- (1)  $x = \langle P, T, s, m, f \rangle$
- (2)  $P$  es un conjunto finito no vacío.
- (3)  $T$  es un intervalo de números reales.
- (4)  $s$  es una función de  $P \times T$  en el conjunto de vectores tridimensionales (tríos ordenados) de números reales, dos veces diferenciable sobre  $T$ .
- (5)  $m$  es una función de  $P$  en el conjunto de números reales tal que, para todo  $p \in P$ :  $m(p) > 0$ .
- (6)  $f$  es una función de  $P \times T \times N$  en el conjunto de vectores tridimensionales (tríos ordenados) de números reales.

(Pero, tengamos presente aquí para mayor claridad, que):

( $N$  es el conjunto-ayuda de números naturales, que marca con un índice la  $f$  para cada  $p$  y  $t$ ; podríamos escribir ' $f_i(p, t)$ ' en lugar de ' $f(p, t, i)$ ').

(7) Para todo  $p \in P$  y  $t \in T$ :  $m(p) \cdot d^2/dt^2(s(p,t)) = \sum_{i \in N} f(p,t,i)$

(8) Para todo  $p \in P$ ,  $q \in P$  y  $t \in T$ :

(i)  $f(p,t,i[q]) = -f(q,t,j[p])$

(ii)  $s(p,t) \otimes f(p,t,i[q]) = -s(q,t) \otimes f(q,t,j[p])$ .

(Aclaración notacional. Indicamos mediante ' $i[q]$ ' que la  $f$  que tiene como uno de sus argumentos dicho índice "se debe a  $q$ "; entonces ' $f(p,t,i[q])$ ' denota el valor de  $f$  sobre  $p$  en  $t$  "debido a  $q$ ". ' $\otimes$ ' denota el producto vectorial.)

(1) presenta (el número de) los constituyentes de las estructuras. (2)-(6) son los axiomas impropios, meras tipificaciones lógico-matemáticas de las entidades que constituyen la estructura. La idea es que  $P$  es un conjunto de partículas, p.e. en una estructura  $x$  determinada ese conjunto contiene sólo a la Tierra y la Luna; en otra al Sol y los planetas; en otra, a la Tierra y un péndulo; en otra a la Tierra y dos objetos en una polea; etc.  $T$  es un conjunto de instantes temporales.  $s$  es la función posición, que asigna a cada partícula del sistema un determinado vector-posición en cada instante; es dos veces diferenciable respecto del tiempo, su primera derivada es la velocidad y su segunda derivada es la aceleración.  $m$  es la función masa, que asigna a cada partícula un número real, su masa (que es independiente del tiempo).  $f$  es la función fuerza, que asigna a cada partícula en cada instante una serie de vectores-fuerza, las fuerzas actuantes sobre la partícula en ese instante; en vez de tener varias funciones, tenemos una única función que tiene como argumentos, además de partículas e instantes, ciertos índices que distinguen los diferentes vectores-fuerza actuantes sobre  $p$  en  $t$ ; así,  $f(p,t,i) = \langle x_1, x_2, x_3 \rangle$  y  $f(p,t,j) = \langle y_1, y_2, y_3 \rangle$  ( $i \neq j$ ) son los valores de dos fuerzas diferentes actuantes sobre la partícula  $p$  en el instante  $t$ . (7) y (8) son los axiomas propios, expresan las leyes propiamente dichas de esta teoría. (7) expresa el segundo principio de Newton: la suma (vectorial) de las fuerzas actuantes sobre una partícula en un instante es igual a la variación de cantidad de

movimiento, o como se suele decir, al producto de la masa de la partícula por su vector-aceleración en ese instante. (8) expresa (con ciertas deficiencias técnicas) el principio de acción y reacción: las fuerzas que se ejercen mutuamente dos partículas son de igual módulo y dirección y de sentidos contrarios.

Este es un ejemplo típico de la axiomatización suppesiana de una teoría mediante la definición de un predicado teórico-conjuntista. Debe quedar claro que lo que se hace es, como habíamos anunciado, definir cierta clase de modelos. Las estructuras que satisfacen (1)-(8) son, "por definición", sistemas mecánicos newtonianos. Presentar la mecánica newtoniana es presentar (definir) esa clase de modelos. Debe quedar claro también que esos modelos están sometidos a, son caracterizados a través de, algunas condiciones efectivamente restrictivas. Las condiciones (1)-(6), meras tipificaciones, determinan simplemente el tipo lógico-matemático de las entidades que constituyen los sistemas. Las entidades de ese tipo lógico, que satisfacen (1)-(6), son, por decirlo así, candidatos a ser modelos de la teoría; esto es, entidades de las que tiene sentido plantearse si se comportan del modo que dice la teoría, si cumplen las leyes propiamente dichas. Si una estructura no tiene una función que asigne a los elementos del dominio números reales, no tiene sentido preguntarse si cumple o no el segundo principio de Newton, pues tal principio involucra funciones de ese tipo. A las estructuras que satisfacen las tipificaciones las llama Suppes *posibles realizaciones* (cf. 1960 pp. 287-288). Lo que debe quedar claro es que lo esencial de una teoría no son (sólo) sus posibles realizaciones, sino (principalmente) sus *realizaciones efectivas* o *modelos* en sentido propio. La teoría no sólo contiene tipificaciones, contiene condiciones adicionales que son restrictivas en el sentido de que algunas de las posibles realizaciones las cumplirán, pero otras no. No por tener el tipo de conjuntos y funciones que especifican (1)-(6) toda estructura va a satisfacer (7)-(8); puede ser que tenga ese tipo de entidades, pero que sumes los vectores fuerza para una partícula en un instante, multipliques su masa por su aceleración, y simplemente no te de el mismo

resultado (como ejercicio, el lector puede construir un ejemplo puramente numérico de sistema que cumpla (1)-(6) pero no (7)). Las realizaciones efectivas o modelos de una teoría son aquellas realizaciones posibles que además satisfacen los axiomas propios; el conjunto de modelos será por tanto en general un subconjunto propio de del conjunto de realizaciones posibles.

#### 4. Adams y las aplicaciones pretendidas.

Hasta aquí lo esencial de la nueva caracterización que hace Suppes de las teorías científicas, debemos ver ahora brevemente la importante modificación que introduce su discípulo E. Adams. Esta modificación intenta subsanar lo que Adams considera una insuficiencia de la versión original. Esta insuficiencia tiene que ver con algo que hemos hecho al presentar el ejemplo de Suppes, y que él mismo hace, y que sin embargo no es claro que se pueda hacer desde sus presupuestos. Una vez presentado el predicado conjuntista, hemos indicado cuál era la *interpretación pretendida* de las entidades componentes de los modelos, esto es, partículas físicas, sus masas, posiciones especiales, etc. La cuestión es, ¿quién dice eso?, ¿cómo dice eso la teoría? Puede ocurrir que el predicado sea satisfecho por entidades que ontológicamente nada tengan que ver con esas entidades pretendidas. Por ejemplo, que los ángeles, junto con su "cantidad de espíritu", sus "afinidades" o lo que sea, satisfagan esos axioma. O, por poner un ejemplo menos absurdo, esos axiomas son satisfechos de hecho por estructuras puramente matemáticas, esto es, estructuras tales que el conjunto  $P$  está constituido por números. En otras palabras, entre los modelos efectivos, no meramente entre las posibles realizaciones, sino entre las realizaciones efectivas que cumplen (7) y (8) además de (1)-(6), hay seguro sistemas puramente matemáticos (y quizás "angélicos" u otros de parecida rareza), sistemas *de los que no pretende hablar la teoría*. Parece claro que es esencial a una teoría *empírica* el que pretenda aplicarse sólo a algunos de sus modelos, que no se pensaron los principios newtonianos para sistemas puramente matemáticos (o angélicos). Pero si presentar una teoría consiste

exclusivamente en presentar una clase de modelos definiendo un predicado conjuntista (con axiomas impropios y propios), no se ve cómo se puede recoger ese hecho.

La cuestión en juego es, como el lector habrá adivinado, la de la interpretación empírica. El predicado conjuntista que define los modelos, es un mero formalismo matemático abstracto carente de interpretación empírica, o mejor dicho compatible con interpretaciones muy diferentes, tanto empíricas como no empíricas; el conjunto de modelos que tal predicado determina incluye sistemas de la más variada constitución, tanto empíricos como matemáticos. Efectivamente, estamos de nuevo ante el viejo problema de la conexión del formalismo con la experiencia. Otro modo de presentar la objeción a Suppes es mostrar que su caracterización, sin elementos adicionales, no permite distinguir las teorías empíricas de las teorías matemáticas. Para Suppes eso no es un problema tan grave, pues piensa que en realidad la diferencia entre unas y otras no es siempre tan clara como se pretende, y que una ventaja de su enfoque es justamente que hace explícito ese hecho. Naturalmente Suppes no pretende negar que a veces hay una diferencia. Reconoce que hay casos en que es así y ofrece una vía para dar cuenta de ella. Sin embargo, Suppes no piensa que esa diferencia, cuando se da, haya de reflejarse en la estructura aparente de la teoría. La diferencia radica en que, en las teorías empíricas (matematizadas), la determinación-medición de algunas de (o todas) sus magnitudes vincula dicha magnitud con situaciones empíricas cualitativas que fundamentan la medición; p.e., la función masa está ligada a procedimientos de comparación cualitativa mediante balanza de brazos. Esas situaciones empíricas cualitativas sobre las que descansa en última instancia la medición, son estudiadas por las llamadas *teorías de la medición fundamental*. La interpretación empírica de un teoría se expresa entonces a través de los vínculos que guardan sus magnitudes con las teorías de la medición fundamental. La interpretación empírica no se manifiesta "inmediatamente" en la caracterización-axiomatización de una teoría.

Adams plantea esencialmente la misma objeción, pero de un modo que no permite resolverla apelando a la medición fundamental. La objeción de Adams es que si caracterizamos las teorías, como hace Suppes, exclusivamente mediante el conjunto de sus modelos o realizaciones efectivas, entonces no es posible hacer explícito el elemento "veritativo", o "proposicional", de las teorías; esto es, no es posible hacer explícito el sentido en que las teorías son verdaderas o falsas, o si se prefiere, correctas o incorrectas. El conjunto de modelos caracteriza un modo en el que pueden ser las cosas, el modo en el que según la teoría son las cosas. Pero ¿qué cosas? La teoría quiere decir "así son las cosas". Pero, ¿qué cosas dice ella que son *así*? ¿planetas?, ¿péndulos?, ¿países?, ¿ángeles?, ¿simples números? El "así" está expresado por el conjunto de modelos. Pero si eso es todo lo que tenemos, nos falta algo que exprese "las cosas" de las que se pretende que son de ese modo. Sin eso no podemos expresar esa pretensión de la teoría. Como vimos, esta pretensión es esencial a las teorías, pues éstas son ideadas para dar cuenta de parcelas específicas de la realidad. Y esta pretensión contiene el elemento proposicional de las teorías, pues se expresa una afirmación susceptible de ser verdadera o falsa: verdadera si *esas* cosas son efectivamente *así* (si están entre los modelos), falsa si no lo son.

Adams propone "abordar el concepto de *verdad* o *corrección* [...] a través de la noción de *interpretación pretendida [intencional]* o *modelo pretendido [intencional]* de la teoría, [...] que es] cualquier sistema del cual [...] se pretende que se ajusta a los axiomas. Hay siempre en general un enorme número de sistemas que satisfacen los axiomas de la teoría, pero en las teorías de la ciencia empírica, normalmente sólo unos pocos de ellos serán aplicaciones o modelos pretendidos" (1959 p. 258). Son modelos pretendidos de la mecánica newtoniana, por ejemplo, el sistema formado por la Tierra y la Luna, o el constituido por el Sol con los planetas, o un plano inclinado, o un proyectil sobre la Tierra, etc. La identificación o caracterización metateórica de una teoría debe incluir entonces, además del conjunto de modelos que satisfacen el

predicado, un conjunto de aplicaciones de las que se pretende que se comportan como la teoría dice, que están entre los modelos. Resumiendo: "Si la verdad y la falsedad han de ser definidas, hemos visto que se deben tener en cuenta dos aspectos de una teoría: primero, el aspecto formal que corresponde al predicado conjuntista definido mediante los axiomas, [... o mejor,] la extensión de dicho predicado, el conjunto de los sistemas que satisfacen los axiomas; y segundo, el aspecto aplicativo, que corresponde al conjunto de modelos pretendidos. Formalmente, una teoría  $T$  se caracterizará como un par ordenado de conjuntos  $T = \langle C, I \rangle$  tal que  $C$  es el conjunto de todas las entidades que satisfacen los axiomas, y  $I$  es el conjunto de modelos pretendidos." Como se ve, una teoría no es estrictamente una entidad de la que cabe predicar primariamente la verdad o la falsedad, pero en un sentido lato, derivativo, sí que es adecuado, y esencial, decir que puede ser verdadera o falsa: "La teoría es verdadera si y sólo si todos sus modelos pretendidos satisfacen sus axiomas, en caso contrario es falsa. Si  $T = \langle C, I \rangle$ , entonces  $T$  es verdadera si y sólo si  $I$  está incluido en  $C$ " (ibid. pp. 259-260). " $I \subseteq C$ " expresa pues sucintamente la aserción o hipótesis empírica vinculada a la teoría, de la cual ésta hereda su valor veritativo.

Esta es la modificación esencial con la que Adams contribuye al programa de Suppes. En la versión de Adams, esta modificación presenta sin embargo algunas dificultades. La más aparente es que queda oscuro el modo en que se seleccionan las aplicaciones pretendidas y, sobre todo, la contrastación de la aserción empírica. Por supuesto que las aplicaciones no se "extraen" simplemente de entre los modelos del conjunto  $C$ , pues entonces la aserción sería tautológica. El modo en que se seleccionan es esencialmente pragmático y no se puede representar de manera completamente formal. Pero algo más de precisión formal es necesaria para dar cuenta del carácter de la aserción. Nótese que si en la determinación de las aplicaciones, en la medición de los valores de las magnitudes del sistema-aplicación del que se quiere contrastar si se ajusta o no a las leyes de  $T$ , se usaran las leyes de  $T$ , estaríamos

ante un expediente autojustificativo. Esto es, si en la determinación de los hechos o base empírica de aplicación se usaran las leyes de la teoría, la aserción se "autojustificaría". La caracterización de Adams no es lo suficientemente fina para abordar esta cuestión; una de las motivaciones con las que surge el estructuralismo de Sneed es precisamente caracterizar de un modo más adecuado las aplicaciones pretendidas que permita elucidar el carácter no autojustificativo de la aserción empírica.

Antes de concluir con la escuela de Stanford, hay que señalar que el propio Suppes se plantea en cierto momento la cuestión de la aplicación empírica de las teorías empíricas desde una perspectiva que guarda algo de semejanza con el espíritu de la propuesta de Adams. En un trabajo de 1960, 'Models of Data' defiende que lo que cuenta como datos para una teoría se presenta también en forma de modelos, los *modelos de datos*. La diferencia entre las teorías empíricas y matemáticas es que en las primeras, y no en las segundas, los modelos de datos son de distinto tipo lógico que los modelos teóricos. Aunque no es totalmente explícito en este punto, parece que la diferencia de tipo lógico a que se refiere en el caso de teorías empíricas, consiste en que los modelos de datos son subestructuras de los modelos teóricos. A juzgar por el ejemplo que presenta, de este modo parece que se debe interpretar su afirmación de que "en la teoría [empírica] se usan nociones teóricas que no tienen un análogo directo observable en los datos experimentales" (§1). En su ejemplo, la teoría del aprendizaje Estes-Suppes, los modelos de la teoría están constituidos por ciertas entidades, algunas consideradas observables y otras no; los modelos de datos están constituidos entonces por los constituyentes *observables* de los modelos teóricos, de modo que resultan ser subestructuras de aquellos. Los modelos de datos, además, son definidos por sus propias teorías, y es a través de su conexión con estas teorías de datos como adquiere contenido empírico la primera. "Lo que he intentado argüir es que se establece una jerarquía completa de modelos entre los modelos de la teoría básica y la experiencia experimental completa. Más aún, para cada

nivel de la jerarquía hay una teoría por derecho propio. A la teoría de cierto nivel le es dado su significado empírico al hacer conexiones formales con la teoría de un nivel más bajo" (§3).

La propuesta de Suppes está sólo esbozada en este artículo, y no llegó a desarrollarla en trabajos posteriores. En esa versión es muy imprecisa, está poco articulada con el resto de su programa y contiene elementos problemáticos que no se tratan. Aunque puede encontrarse cierta semejanza de espíritu con las ideas de Adams, sus modelos de datos no se corresponden exactamente con las aplicaciones pretendidas de Adams. Estos, contrariamente a aquellas, son observacionales y plenamente determinables teóricamente (mediante otra teoría de bajo nivel); aquellas, contrariamente a éstas, se determinan intencionalmente y tienen el mismo tipo lógico que los modelos teóricos. Veremos que el análisis satisfactorio de la base empírica incorpora elementos de ambos.

Tras la revisión de los trabajos fundacionales de Suppes y la contribución de Adams, veremos ahora brevemente los elementos específicos de los principales representantes actuales de este nuevo enfoque. Aunque la implantación general se realiza bajo la influencia de los trabajos de Suppes, no todos los miembros de la familia están directamente influidos por él o le siguen en los aspectos específicos de su propuesta. Se trata más bien de que a la estela de la propuesta específica de Suppes se desarrollan una serie de otras propuestas que en muchos casos comparten con aquél sólo la orientación modelística. Comparten tan sólo una estrategia general y una preferencia por determinada forma, la modelística, de presentar y analizar los problemas, pero, como también advertimos, no comparten tesis filosóficas sustantivas.

##### 5. *Van Fraassen: espacios de estado; base empírica y observabilidad.*

Van Fraassen coincide con Suppes en que el modo filosóficamente más iluminador de caracterizar una teoría es presentándola como definiendo una clase de modelos. Discrepa de él, sin embargo, en la naturaleza matemática de estas entidades. Frente

a los modelos como estructuras conjuntistas de Suppes, van Fraassen opta por los modelos como "puntos" o "trayectorias" en un *espacio de estados*, idea cuya aplicación a las teorías físicas atribuye a Beth. Beth (cf. 1960) propone un análisis semántico de las mecánicas newtoniana y cuántica en términos de sistemas constituidos por estados gobernados por las ecuaciones mecánicas fundamentales. Van Fraassen desarrolla y generaliza esta idea a principios de los setenta (cf. 1970 y 1972). Aunque los detalles son complicados, la idea es la siguiente (van Fraassen advierte sobre las limitaciones para el caso de teorías físicas relativistas, pero no nos detendremos en ello).

Un estado de un sistema está definido por los valores de ciertas magnitudes en un momento. Por ejemplo, un estado de un gas queda definido por los valores de la temperatura, el volumen y la presión; se puede identificar por tanto con una triada ordenada  $\langle t, v, p \rangle$  de números reales, donde cada componente es, respectivamente, el valor de la correspondiente magnitud. En mecánica, el estado de cada partícula en un instante lo determina su posición  $q = (q_x, q_y, q_z)$  y su momento  $p = (p_x, p_y, p_z)$ ; el estado se puede identificar con el sextuplo ordenado  $\langle q_x, q_y, q_z, p_x, p_y, p_z \rangle$ . Los estados se identifican por tanto en general con puntos en un determinado sistema de coordenadas, de tantas dimensiones como componentes tengan los estados, tridimensional en el primer ejemplo, hexadimensional en el segundo. A cada tipo de sistema le corresponde entonces un *espacio de estados*, el conjunto de todas las posibles n-secuencias (n es la dimensión del espacio) de valores; los estados posibles de los sistemas de ese tipo son pues los puntos de ese espacio. Lo que hacen los postulados y leyes de una teoría es imponer constricciones sobre las relaciones entre estados, permitiendo ciertas transiciones o coexistencias entre estados y excluyendo otras. Las transiciones se identifican con determinadas trayectorias en dicho espacio, y las coexistencias con regiones específicas del mismo. Las leyes de una teoría permiten ciertas trayectorias y regiones y excluyen otras; así, de entre todas las trayectorias y regiones

*lógicamente* posibles, la teoría determina sólo algunas de ellas, las *físicamente* posibles.

Como en Suppes, por tanto, la teoría define mediante las leyes una clase de modelos, pero ahora tales modelos son trayectorias o regiones permitidas en un espacio de estados de determinada dimensión. Esta diferencia en la caracterización de los modelos no tiene consecuencias filosóficas sustantivas. En concreto, la forma de antirrealismo que van Fraassen defiende, su llamado *empirismo constructivo*, no depende de las preferencias sobre la forma de los modelos. El empirismo constructivo es una tesis epistemológica acerca de qué creencias implica la aceptación de una teoría. En la defensa de esta tesis epistemológica, Van Fraassen desarrolla toda una variedad de tesis, de orientación general también antirrealista, sobre muchas cuestiones filosóficas sustantivas, como la causalidad, la explicación, las leyes, la modalidad o la observabilidad (cf. especialmente, 1980 y 1989). No es este el lugar de revisarlas, ni siquiera someramente. Nos limitaremos para concluir a presentar la idea de base empírica sobre la que sostiene parte de su argumento general.

"La parte 'pura' de la teoría define el tipo de sistemas a los cuales se aplica; las aserciones empíricas tendrán la forma de que cierto sistema empírico dado pertenece a tal clase" (1970 p. 311). En realidad la aserción no dice, como en Adams, exactamente que los sistemas empíricos pertenecen a dicha clase, están entre los modelos, sino sólo que son "subsumibles". La diferencia radica en que, en línea con las sugerencias que vimos en Suppes, los sistemas a los que se aplica la teoría son subestructuras de los modelos determinados por las leyes, las subestructuras consistentes en quedarnos con la parte observacional de los modelos: "ciertas partes de los modelos [son] identificados como *subestructuras empíricas*, y esos [son] los candidatos para la representación de los fenómenos observables con los cuales la ciencia se puede confrontar en la experiencia, [...] la adecuación empírica consiste en la subsumibilidad de esas partes en algún modelo único del mundo permitido por la teoría" (1989 pp. 227-228). Lo que hace la

teoría es postular la existencia de ciertas entidades inobservables, "ocultas", cuya (supuesta) interacción con las entidades observables produce (pretendidamente) los efectos observables, los fenómenos. Parte de lo que la teoría sostiene es que esas subestructuras empíricas son subsumibles bajo uno de sus modelos, esto es, que se comportan del modo en que lo harían si el mundo fuese uno de sus modelos, con sus entidades ocultas interaccionando con las observacionales del modo específico indicado en las leyes. Ese es el contenido de la aserción empírica y si dicha aserción es verdadera decimos que la teoría es *empíricamente adecuada* (que "salva los fenómenos").

Van Fraassen insiste en que eso es sólo parte de lo que la teoría dice, porque quiere defender que la teoría dice también algo más, dice que el mundo contiene tales y cuales entidades además de las observables: "Es claro que podemos discutir dos cuestiones separadas: ¿qué dice la teoría sobre cómo es el mundo? y ¿qué dice la teoría sobre cómo son los fenómenos? Puesto que los fenómenos son la parte observable del mundo, y es contingente que haya o no otras partes, se sigue que estas preguntas no son la misma" (1989 p. 191). Lo que quiere defender es que *la teoría misma*, y no sólo su aserción empírica, puede ser verdadera o falsa. Por eso insiste en que la teoría debe ser una entidad en cierto sentido proposicional, con valor veritativo y susceptible de ser o no creída. Hay un sentido débil en que la teoría puede ser verdadera o falsa, a saber, que su aserción es verdadera o falsa, que *la parte observacional del mundo* es como dice la teoría. Pero hay un sentido más fuerte en que la teoría puede ser verdadera o falsa, a saber, es verdadera si y sólo si *el mundo* es como dice la teoría, si es uno de sus modelos. En el primer sentido prefiere hablar, más que de verdad de la teoría, de *adecuación empírica*; sólo en el segundo sentido la teoría es propiamente verdadera. Este doble sentido se aplica también a las actitudes proposicionales que podemos tener hacia las teorías. Podemos creer sólo que la teoría es empíricamente adecuada, que su aserción empírica es verdadera; o podemos creer algo más, a saber, que la teoría misma es verdadera.

En estos términos puede formular ahora van Fraassen su antirrealismo sucintamente. El realismo no es una tesis ontológica sobre lo que hay, sino una tesis epistemológica sobre lo que estamos justificados en creer que hay. Su antirrealismo (*empirismo constructivo*) sostiene que al aceptar una teoría estamos justificados sólo en creer en su adecuación empírica, no en su verdad. Aceptar una teoría nos compromete sólo a creer que lo que afirma de la parte observable del mundo es verdad, no a creer que lo que *también* afirma acerca de inobservables es verdad. Ello se sigue en su opinión de: (a) la tesis empirista según la cual la justificación de toda creencia empírica debe descansar en los fenómenos, en la experiencia observable, y (b) el hecho lógico de que puede haber teorías *diferentes* (incompatibles) empíricamente equivalentes. De (b) se sigue que la creencia en una teoría u otra no está basada en la experiencia, y, por tanto, por (a), no será una creencia justificada. En general, pues, sólo estamos justificados en creer en la adecuación empírica, no en la verdad de una teoría (de *toda* ella). Aunque no podemos discutir ahora este argumento, debe notarse que para que concluya lo que pretende van Fraassen, descansa en la premisa implícita de que (c) la parte empírica de las teorías es siempre observacional, y el reto todavía pendiente es ofrecer una noción precisa y plausible de observabilidad que sustente (c).

6. *Suppe: sistemas relacionales; fenómenos, datos y teorías.*

Suppe inicia su propio enfoque semántico en su tesis doctoral dedicada al significado y uso de los modelos en la ciencia, influido por los trabajos de von Neumann y Birkhoff sobre fundamentación de la mecánica cuántica y por los de Suppes sobre modelos de datos. En dos trabajos clásicos sobre la Concepción Heredada, prácticamente ignorada en su tesis, contrasta los aspectos centrales de dicho enfoque con la concepción axiomática clásica (cf. 1972 y 1974), y durante finales de los setenta y en los ochenta desarrolla su concepción aplicándola a los principales tópicos de la filosofía de la ciencia (cf. 1989).

Suppe sigue a Suppes en la aproximación modelo-teórica general pero, como van Fraassen, influenciado en su caso por los trabajos de von Newemann y Birkhoff, prefiere caracterizar los modelos mediante estados en un espacio de estados, no al modo conjuntista de Suppes. El instrumental matemático es prácticamente coincidente con el de van Fraassen y no abundaremos en él. Una teoría se analiza ahora como un *sistema relacional* (cf. 1989 p. 84), consistente en (a) un dominio que contiene todos los estados lógicamente posibles de los sistemas de que trata la teoría (e.e. el espacio de estados entero) y (b) una serie de relaciones entre los estados, determinadas por los postulados o leyes de la teoría, que especifican las trayectorias y regiones físicamente posibles. El sistema relacional contiene lo que Suppe denomina *sistemas físicos causalmente posibles*, que son los que hacen de modelos teóricos. Una teoría, entonces, determina, a través de alguna de sus formulaciones, una clase de tales sistemas, una clase de modelos. Para su identidad no es esencial la particular formulación sino la clase de modelos.

Mediante la determinación de los sistemas físicos causalmente posibles, la teoría pretende dar cuenta de cierto ámbito de la experiencia, lo que Suppe llama el *alcance pretendido* ('intended scope'). Este ámbito de aplicación está constituido por sistemas físicos que ejercen de "datos duros" ("hard" data') para la teoría. Pero los datos no son en ningún sentido relevante "observables". "Las teorías tienen como su principal objeto los informes de datos duros, no informes de observación directa. [...] La necesidad de una dicotomía observacional/teórico desaparece. La reemplaza la distinción entre datos duros apromblemáticos sobre sistemas físicos y condiciones de entorno y los más problemáticos asertos teóricos acerca de ellos" (1989 p. 69, 71). Los datos son *relativamente apromblemáticos* en dos sentidos: primero, en que son apromblemáticos en relación con una teoría, aquella para la que son datos; segundo, porque, incluso para la teoría en cuestión, no son *totalmente* apromblemáticos, en caso de contrastación negativa pueden ser problematizados, e.e. revisados. Ello es posible porque los sistemas

físicos que presentan los datos son replicas altamente abstractas e idealizadas de los fenómenos. En la réplica se seleccionan sólo los parámetros del sistema relevantes para la teoría y se abstraen los demás, y los que se seleccionan se idealizan. Por ejemplo (ibid. p. 65), en la determinación del sistema-dato en un caso de caída libre en mecánica, se prescinde de parámetros como el color, etc., y otros relevantes como la velocidad se seleccionan en condiciones ideales, como ausencia de rozamiento, masa puntual, etc. La determinación de los datos es pues un complejo proceso de constitución a partir de los fenómenos, que involucra un gran número de supuestos teóricos en la selección de los parámetros, su medición, la idealización, la determinación de las condiciones de entorno, etc. En ciertas circunstancias, puede ser más adecuado revisar este proceso que los postulados teóricos. Quizás se piense que esta caracterización de los datos, *obtenidos a partir de los fenómenos*, abre la puerta trasera a la distinción que se ha abandonado, pues aunque los datos no serían observables, los fenómenos "de los que se extraen" sí. La distinción volvería a ser fundamental, sólo que un peldaño más abajo. Pero no es así. Los fenómenos están constituidos por particulares que poseen ciertas propiedades y que están en ciertas relaciones, pero "estos particulares, sus propiedades y relaciones no necesitan ser observables" (ibid. p. 93).

Así caracterizada, una teoría es *empíricamente verdadera* si los datos coinciden con los modelos de la teoría, si los sistemas físicos del alcance pretendido coinciden con los *sistemas físicos causalmente posibles* determinados por la teoría, e.e., si en los sistemas de datos los valores de los atributos son los determinados por la teoría (quizás con ciertas idealizaciones). En realidad esa es una condición sólo necesaria, pues Suppe añade otra condición "antinominalista", que aquí sólo podemos presentar imprecisamente y sin comentario: los parámetros de los sistemas de datos corresponden a clases naturales (*natural kinds*, cf. ibid. p. 98). Suppe coincide con van Fraassen en que la aceptación de la teoría no supone aceptar su verdad, la verdad de *toda ella*. Pero no coincide con aquél en sus motivos. Esta diferencia es la que le permite defender, contra

van Fraassen, lo que califica de *cuasi-realismo*. Las teorías, afirma, no dan descripciones literales de cómo funciona el mundo real, sólo pretenden describir como *funcionaría* el mundo si los parámetros seleccionados *fuesen* independientes de los desestimados. "Las teorías proporcionan descripciones contrafácticas de como *sería* el mundo *si* los parámetros desestimados *no influyesen* en los fenómenos que la teoría pretende describir. Pero típicamente los parámetros desestimados influyen al menos a veces en los fenómenos, y por tanto las caracterizaciones ofrecidas por las teorías no son literalmente verdaderas, sino como máximo contrafácticamente verdaderas, de los fenómenos de su alcance. Este es la postura cuasi-realista que he defendido" (ibid. pp. 348-349).

#### 7. Giere: modelos e hipótesis teórica.

Giere desarrolla su propia versión de la concepción semántica en el marco de un programa metacientífico más amplio de análisis de los diversos elementos de la ciencia desde una perspectiva *cognitiva* (cf. especialmente 1988; también 1977, su libro de texto clásico sobre la argumentación científica, con nueva edición muy revisada en 1991). Desde esta perspectiva, propone considerar a las teorías como medios para definir modelos abstractos de los que se postula su aplicación a ciertos sistemas reales. "Mi sugerencia preferida es que entendamos una teoría como compuesta de dos elementos: (1) una población de modelos, y (2) varias hipótesis conectando esos modelos con sistemas en el mundo real" (1988 p. 85).

Los modelos ahora no se caracterizan como entidades conjuntistas, ni mediante espacios de estado, ni de ninguna otra forma específica. No se les atribuye una naturaleza matemática determinada. La noción de *modelo teórico* es aquí extremadamente amplia, son entidades abstractas definidas mediante ciertos recursos sígnicos, generalmente, pero no necesariamente, lingüísticos (p.e. se pueden usar grafos o croquis). A veces los modelos pueden ser "modelos a escala" físicamente contruidos, como en el caso del modelo de doble hélice de Watson y Crick para el DNA. Pero en

general no son así y, lo que es importante, en tanto que modelos teóricos no son (o no cuentan como) entidades físicas. "Un modelo teórico es parte de un mundo imaginado. No existe en ningún lugar excepto en las mentes de los científicos o como sujetos abstractos de las descripciones verbales que los científicos escriben" (1991 p. 26). Por ejemplo, si antes de ir a una fiesta nos "imaginamos" quién viene con quién, estamos determinando, definiendo, una entidad abstracta que es un modelo de (algunos aspectos de) la fiesta. Otro ejemplo son los mapas. Un modelo es por tanto, como en estos ejemplos, una entidad abstracta y estructurada que representa algo otro. Los postulados, leyes y ecuaciones que aparecen en los textos científicos *definen* estas entidades. La ecuación " $md^2s/dt^2 = -kx$ " define lo que *es* un oscilador armónico simple; la ecuación " $md^2s/dt^2 = -(mg/l)x$ " define un tipo de oscilador armónico simple, el péndulo sin fricción. Osciladores, péndulos, son por tanto modelos definidos mediante esas ecuaciones, y en tanto que tales son "entidades *socialmente* construidas [y] no tienen realidad más allá que la atribuida a ellas por la comunidad de físicos" (1988 p. 78).

Una vez definidos los modelos teóricos, la teoría formula ciertas *hipótesis teóricas*. Una hipótesis teórica es un enunciado o proposición que afirma cierto tipo de relación entre un modelo y un sistema real determinado (o una clase de sistemas tales). Giere enfatiza que a diferencia de los modelos, las hipótesis teóricas sí son entidades lingüísticas (proposicionales), verdaderas o falsas. La relación que se afirma en la hipótesis teórica no es la de identidad, no se afirma que cierto sistema es el modelo; nótese que los sistemas son entidades físicas y los modelos no lo son, son entidades abstractas. La relación afirmada en la hipótesis es la de *similaridad*. Pero toda relación de similaridad debe ser cualificada para ser mínimamente precisa. Debe relativizarse a determinados *aspectos* y, en ellos, a cierto *grado*. La forma general de la hipótesis teórica es pues la siguiente: "Tal sistema real identificable es similar al modelo designado en los aspectos y grados indicados" (ibid. p. 81). No todos los aspectos del sistema real se desean

reflejar en el modelo. En el caso del modelo para nuestra fiesta, no nos interesa quizás el color de las ropas, o incluso la hora de llegada. Lo mismo ocurre en la ciencia, p.e. en la mecánica no nos interesa el color de los objetos, o incluso a veces tampoco la forma ni el tamaño. Así, las hipótesis contenidas en los textos científicos formuladas en términos identificatorios, expresan en realidad afirmaciones de similaridad. Cuando los físicos dicen "la Tierra y la Luna constituyen un sistema gravitacional newtoniano de dos partículas", lo que están afirmando es: "las posiciones y velocidades de la Tierra y la Luna en el sistema Tierra-Luna se aproximan mucho a las de un modelo newtoniano de dos partículas con fuerza central cuadrático-inversa".

Giere desea enfatizar que, en su perspectiva, los enunciados contenidos en la formulación de la teoría no están en conexión directa con el mundo real, sino que se conectan indirectamente con el mundo a través de los modelos. Los enunciados definen los modelos, y los modelos están directamente conectados con el mundo físico a través de la relación de similaridad. Esta relación desimilaridad-en-ciertos-respectos-relevantes-y-hasta-cierto-grado, es expresada por la hipótesis teórica, que sí es una entidad lingüística. La relación puede darse o no darse, si se da la hipótesis es verdadera, si no es falsa. Podría pensarse que la abstracción, aproximación y idealización de la relación de similaridad se pueden reducir, hasta eventualmente eliminarse, mediante la definición de modelos más completos y precisos. Al aumentar los aspectos relevantes, disminuye la idealización y se afina la aproximación. Por ejemplo, se puede definir un modelo para el oscilador armónico que incluya la fricción; este modelo incluye un nuevo aspecto para la relación de similaridad, es por tanto menos idealizado y puede aumentarse el grado de similaridad o aproximación a los valores del sistema real. Pero eso sólo reduce o estrecha la similaridad, nunca es posible convertirla en correspondencia exacta, en correspondencia entre el sistema y el modelo en todos los aspectos y con una precisión completa.

Una consecuencia de este enfoque es, en opinión de Giere, que las teorías científicas son entidades que no están bien definidas. El motivo es que no está bien determinado, al menos no formalmente, cuáles son los modelos vinculados a una teoría específica, por ejemplo, qué cuenta propiamente como modelo newtoniano. En su opinión, todo lo que se puede decir es que los modelos de la mecánica comparten "un parecido de familia". Este parecido es innegable, pero no consiste en nada estructuralmente identificable en los modelos. La única determinación posible es en términos sociológicos: "Nada en la estructura de los modelos mismos puede determinar que el parecido es suficiente para pertenecer a la familia. Esta cuestión es decidida exclusivamente por los juicios de los miembros de la comunidad científica en un momento. Eso no quiere decir que haya un parecido objetivo susceptible de ser juzgado correcta o incorrectamente. Lo que quiere decir es que el conjunto de los juicios de los científicos *determina* si el parecido es suficiente. Este es un aspecto en el que las teorías son no sólo construidas, sino además socialmente construidas" (ibid. p. 86).

Giere defiende sobre estas bases cierto tipo de "realismo", que él denomina *realismo constructivista*, que tan sólo podemos enunciar aquí superficialmente. La ciencia tiene un aspecto esencialmente constructivo, la definición de los modelos, y modelos diferentes pueden ser representaciones alternativas de un mismo sistema físico. Hay modelos mejores que otros, pero eso no se puede especificar apelando exclusivamente al mundo. Nada en el mundo mismo fija los aspectos a representar, ni cuán buena es la representación. La especificación debe apelar necesariamente a intereses humanos, no sólo epistémicos o científicos, sino también a prácticos de diverso tipo. Eso supone una cierta dosis de relativismo, pero no es un relativismo radical: podemos circular por Nueva York, mejor o peor, con dos mapas de Nueva York diferentes, pero no con uno de San Francisco. Este relativismo es compatible en su opinión con cierto realismo, en el sentido de que los modelos representan "hechos del mundo". Pero este es un sentido muy impreciso asumible por los antirrealistas. Precisararlo requiere al

menos dos cosas. Primero, caracterizar más finamente los sistemas físicos "del mundo" de los que se predica su similaridad con los modelos, y lo que dice Giere al respecto sobre los datos es muy poco (cf. 1991 pp. 29-30). Segundo, imponer constricciones claras a la similaridad predicada que permitan, p.e., decir por qué cierto mapa no es un mapa de Nueva York; ¿acaso un mapa de San Francisco no es similar a Nueva York en *algunos* aspectos? Si las únicas constricciones posibles apelan esencialmente a intereses o prácticas humanas, entonces difícilmente se puede calificar esta posición de realista.

#### 8. La concepción estructuralista.

La concepción estructuralista aúna y desarrolla de un modo específico dos tradiciones anteriores. De un lado, el programa Suppes-Adams de análisis y reconstrucción de teorías mediante el instrumental modeloteórico de la teoría informal de conjuntos. De otro, los trabajos de los historicistas, en especial de Kuhn y Lakatos, donde se analizan las teorías como entidades estructuralmente complejas y susceptibles de evolución, con un *núcleo* central inmutable y un *entorno* complementario cambiante. Ambos elementos se encuentran ya en *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Uno de los principales problemas de los historicistas es la vaguedad de sus nociones centrales, que consideraban casi siempre ineliminable. En esta obra, Sneed ofrece ya una primera precisión formal, todavía muy tosca, de esas ideas aplicando el aparato conjuntista de Suppes-Adams. La propuesta de Sneed la recoge Stegmüller (cf. 1973 y 1979), dando lugar a toda una serie de trabajos que desarrollan las diversas partes del programa y lo aplican a la reconstrucción de un considerable número de teorías científicas. Estos trabajos culminan parcialmente a mediados de los ochenta con la publicación de *An Architectonic for Science*, de Balzer, Moulines y Sneed, *summa* del programa que contiene sus principales elementos y algunas reconstrucciones. El programa estructuralista continúa su desarrollo en los ochenta y noventa, tanto extendiéndose a nuevos ámbitos y problemas metacientíficos

como aplicándose a la reconstrucción de nuevas teorías (Balzer-Moulines 1996 y 1997? recogen, respectivamente, los principales resultados en ambas tareas).

La concepción estructuralista es, dentro de la familia semántica, la que ofrece un análisis más detallado de la estructura fina de las teorías. Los principales elementos de dicho análisis son los siguientes

(a) Se rechaza la distinción "teórico / observacional" y se sustituye por otra "teórico / no teórico" relativizada a cada teoría.

(b) En términos de esa nueva distinción se caracteriza la base empírica y el dominio de aplicaciones pretendidas. Los datos están cargados de teoría pero no de la teoría para la que son datos.

(c) Con esta nueva caracterización se da una formulación de la aserción empírica que claramente excluye la interpretación "autojustificativa" de la misma.

(d) Se identifican como nuevos elementos en la determinación de los modelos, además de las tradicionales leyes, otros menos aparentes pero igualmente esenciales, las ligaduras o restricciones cruzadas.

(e) Se identifican los vínculos entre los modelos de diversas teorías.

(f) Se caracteriza la estructura sincrónica de una teoría como una red con diversos componentes, unos más esenciales y permanentes y otros más específicos y cambiantes. La evolución de una teoría consiste en la sucesión de tales redes.

(g) Se analizan en términos modelísticos las tradicionales relaciones interteóricas de reducción y equivalencia.

Concluiremos este trabajo con la presentación más detallada de algunos de estos elementos del análisis estructuralista.

(1) *Elementos teóricos, redes teóricas y evoluciones teóricas.*

Una teoría tiene, como en la versión de Adams del programa de Suppes, una parte "formal" y otra "aplicativa". Pero ambas partes se articulan a su vez, como en Kuhn y Lakatos, en diversos niveles de especificidad. Esta idea de los diversos niveles de especificidad se expresa mediante la noción de *red teórica*, que describe en toda su riqueza la estructura sincrónica de las teorías,

su imagen "congelada" en un momento dado de su evolución. Las teorías, como entidades diacrónicas que se extienden en el tiempo, serán determinadas secuencias de redes teóricas. La noción estructuralista que recoge esta noción diacrónica es la de *evolución teórica*.

Las redes están formadas por diversos elementos estratificados según su especificidad. Cada uno de estos elementos tiene una parte formal y otra aplicativa. La parte formal global de la teoría-red queda expresada por el conjunto de las partes formales de los elementos constituyentes; su parte aplicativa global por el conjunto de las partes aplicativas de sus constituyentes. A estos elementos constituyentes se les denomina *elementos teóricos*. La parte formal de los elementos teóricos se denomina *núcleo* y su parte aplicativa, *dominio de aplicaciones pretendidas (o intencionales)*.

(2) *El núcleo K.*

El núcleo  $K$ , expresa la parte formal de la teoría, las tradicionales leyes. Como en la familia semántica en general, las leyes no se expresan en términos lingüísticos sino modelísticos, entendiendo los modelos, siguiendo aquí a Suppes, como estructuras conjuntistas definidas mediante la introducción de cierto predicado. El núcleo  $K$  contiene entonces una serie de modelos, las estructuras que satisfacen los axiomas del predicado. Sin embargo, a diferencia de Suppes y Adams, para el estructuralismo no es adecuado identificar el núcleo con un único conjunto de modelos. Es conveniente que la expresión modelística de la parte formal de la teoría recoja y haga explícitas diversos elementos distintivos, algunos implícitos en la caracterización de Suppes, otros nuevos. Para referirnos a ellos vamos a recurrir al ejemplo de Suppes de la mecánica de partículas presentado en la sección 3 (hay algunas diferencias técnicas y de matiz entre esa versión y la estándar en el estructuralismo, pero a los efectos actuales se pueden obviar).

(2.1) *Modelos potenciales y modelos actuales.*

Vimos en la sec. 3 que algunos de los axiomas del predicado conjuntista, en ese caso los axiomas (1)-(6), son meras caracterizaciones o tipificaciones de los modelos. Esos axiomas "impropios",

*solos*, definen efectivamente entidades o modelos, pero sólo el tipo lógico-matemático de los mismos, por lo que toda estructura de ese tipo será modelo de ellos, *sin importar qué pase después de sustantivo o específico a sus constituyentes*. Los axiomas (7) y (8) no son así, imponen constricciones efectivas adicionales no meramente lógicas, expresan las leyes en sentido propio de las teorías. Eso significa que de todas las estructuras que satisfacen (1)-(6), sólo algunas satisfacen además (7) y (8). Llamaremos *modelos potenciales* (de la teoría en cuestión), y denotaremos su conjunto mediante ' $M_p$ ', a las estructuras que satisfacen los axiomas impropios o tipificaciones, y *modelos actuales* (de la teoría en cuestión), y denotaremos su conjunto mediante ' $M$ ', a las estructuras que satisfacen *además* los axiomas propios que expresan constricciones no meramente lógicas. Los modelos potenciales son *potenciales* porque *pueden* ser modelos efectivos de la teoría, porque son las entidades de las que tiene sentido preguntarse si satisfacen o no las leyes propiamente dichas. Aquellos modelos potenciales que satisfacen las leyes son los modelos actuales o efectivos, siendo inmediato pues que  $M \subseteq M_p$ .

Es conveniente expresar la diferencia entre modelos potenciales y actuales incluyendo en el núcleo *ambos* conjuntos de modelos. Primero porque la diferencia expresa un hecho importante, a saber, la diferencia entre la parte meramente conceptualizadora de la teoría,  $M_p$ , y la parte efectivamente restrictiva,  $M$ . Pero además, porque los modelos actuales no constituyen la única restricción efectiva de la teoría. Hay otros elementos de la teoría, menos aparentes, pero igualmente restrictivos, cuya expresión requiere también hacer referencia a los modelos potenciales. Uno de estos elementos restrictivos adicionales son las ligaduras.

### (2.2) Condiciones de ligadura ('constraints').

La idea que hay detrás de estas constricciones es que las leyes usuales no son las únicas que imponen condiciones adicionales efectivas a los modelos potenciales. Si consideramos modelos sueltos, sí, pero si tenemos en cuenta varios modelos a la vez, no. Por ejemplo, según la mecánica clásica no puede ser que una

misma partícula  $p$  tenga una masa en un modelo  $x$  y otra masa diferente en otro modelo  $y$ ; tampoco permite que si un modelo  $x$  contiene un partícula  $p_1$  (p.e. "conductor-más-coche") que es la combinación de dos partículas  $p_2$  ("conductor") y  $p_3$  ("coche"), haya modelos que asignen a  $p_1$  y  $p_2$  masas cuya suma no coincida con la asignada a  $p_1$  en  $x$ . La primera condición expresa simplemente que la masa de una partícula es constante, y la segunda que la masa es aditiva, e.e. la masa de un compuesto es la suma de las masas de los componentes. Pero eso no hay manera de decirlo mediante axiomas "normales" que involucran modelos sueltos. La condición que define la ligadura de identidad para la masa es: "para toda partícula  $p$ , y modelos potenciales  $x, y$  (que tengan a  $p$  en su dominio):  $m_x(p)=m_y(p)$ ". Esta condición no es satisfecha o insatisfecha por modelos potenciales sueltos sino por grupos de ellos. Por tanto, el efecto que tiene no es determinar un conjunto de modelos, sino un conjunto de conjuntos de modelos, denotado por ' $C_{=m}$ ' ( $C_{=m} \subseteq \text{Pot}(Mp)$ ). De modo parecido, aunque un poco más complicado, opera la ligadura de la aditividad. Y podría haber otras. En general, cada condición de ligadura en una teoría determinará cierto subconjunto específico de  $\text{Pot}(Mp)$ . Sean  $C_1, \dots, C_n$  ( $C_i \subseteq \text{Pot}(Mp)$ ) los conjuntos determinados por cada una de las ligaduras. Entonces, se puede expresar el efecto constrictivo conjunto de todas las ligaduras, la *ligadura global*  $GC$ , mediante la intersección conjuntista de todas ellas, e.e.  $GC=C_1 \cap \dots \cap C_n$ .  $GC$  será un nuevo componente del núcleo  $K$ .

### (2.3) *T-Teoricidad y modelos parciales.*

Falta un último elemento para que el núcleo contenga todo lo que es relevante de "la parte formal" de la teoría (último provisoriamente, pues en el último apartado haremos referencia a otro). Este elemento tiene que ver con la cuestión de la teoricidad. El estructuralismo rechaza la distinción "teórico / observacional" por ambigua. Esta distinción esconde en realidad dos: "observable / inobservable" de un lado, y "no teórico / teórico" de otro. Para el análisis de la estructura local de las teorías, la distinción relevante es la segunda. Ahora bien, esta distinción no es una distinción

absoluta sino que está relativizada a las teorías. Un término, o un concepto, o una entidad, no es teórico o no teórico sin más, sino *relativamente a una teoría dada*. Por eso no se debe hablar tanto de teoriedad cuanto de *T*-teoriedad, teoriedad relativamente a la teoría *T*. La idea es que un concepto es *T*-teórico si es un concepto *propio* de la teoría *T*, *introducido* por ella, y es *T*-no teórico si es un concepto previamente disponible a *T*. La cuestión es precisar esta intuición. La formulación precisa del criterio de *T*-teoriedad usa de la noción técnica de *procedimiento de determinación*, que no podemos presentar aquí en detalle. Bastará de momento con la siguiente caracterización informal.

Los conceptos se aplican o no a las cosas, o si son cuantitativos, asignan valores a ciertas cosas. Determinar un concepto es determinar si se aplica o no a un objeto particular dado, o si es cuantitativo, determinar el valor de la magnitud para el particular. Los modos para proceder a ello son los procedimientos de determinación de los conceptos. Puedo determinar la distancia entre la Tierra y la Luna haciendo ciertos cálculos a partir del período de rotación y las masas correspondientes. Puedo determinarlo también mediante ciertos procedimientos óptico-geométricos. Puedo determinar la masa de un objeto mediante una balanza de brazos. También mediante una balanza de muelle. O viendo cuánto se desplaza otra masa tras un chocar con ella a cierta velocidad. Todos ellos son procedimientos de determinación, unos de la distancia, otros de la masa, etc. Pues bien, si un concepto es *T*-no teórico, si es *anterior* a *T*, entonces tiene procedimientos de determinación *independientes* de *T*; en cambio si es *T*-teórico, si es propio de *T*, su determinación depende *siempre* de *T*. Un procedimiento de determinación se considera dependiente de la teoría *T* si presupone la aplicabilidad de *T*, la validez de sus leyes, esto es, si usa o presupone modelos actuales de *T*. La idea es que un concepto es *T*-teórico si no se puede determinar sin presuponer la aplicabilidad de *T*, si *todo* procedimiento para su determinación la presupone; y es *T*-no teórico si tiene *algún* procedimiento de determinación *T*-independiente, si es posible determinarlo sin

suponer la aplicación de la teoría, por más que también tenga otros  $T$ -dependientes. En el caso de la mecánica que venimos usando como ejemplo, *espacio* y *tiempo* son MC-no teóricos, conceptos cinemáticos previos, *masa* y *fuerza* son conceptos MC-teóricos, los conceptos propiamente mecánicos, dinámicos.

La noción de  $T$ -teoricidad permite precisar el último componente del núcleo. Hemos visto que los modelos potenciales expresan el aparato conceptual de la teoría. Es conveniente ahora distinguir en el núcleo entre el aparato conceptual global de la teoría y el aparato conceptual específico de ella, pues de esta diferencia depende la adecuada caracterización de la base empírica. Esta distinción quedará patente en el núcleo incluyendo en  $K$  un nuevo conjunto de modelos, el conjunto  $Mpp$  de *modelos (potenciales) parciales*, que se obtienen de "recortar" de los modelos potenciales sus componentes  $T$ -teóricos. Se puede definir una *función recorte*  $r$  que genera los modelos parciales a partir de los potenciales: si los modelos potenciales de  $T$  son estructuras del tipo  $x = \langle D_1, \dots, D_k, \dots, R_1, \dots, R_n, \dots, R_m \rangle$  y  $R_{n+1}, \dots, R_m$  son  $T$ -teóricos, entonces  $r(x) = \langle D_1, \dots, D_k, \dots, R_1, \dots, R_n \rangle$ . El conjunto  $Mpp$  de los modelos parciales es simplemente el conjunto de los modelos potenciales de los que hemos recortado las funciones  $T$ -teóricas; en nuestro ejemplo, los modelos parciales son entidades del tipo  $\langle P, t, s \rangle$ , que no contienen parámetros MC-teóricos, contienen sólo parámetros cinemáticos; mientras que los modelos potenciales  $\langle P, t, s, m, f \rangle$  incluyen además los parámetros dinámicos, los propiamente mecánico-teóricos.

Con ello concluimos la presentación del núcleo, la parte formal de los elementos teóricos. El núcleo  $K$  se expresa mediante la serie  $K = \langle Mp, Mpp, M, GC \rangle$ , donde  $Mp$  es el conjunto de modelos potenciales,  $Mpp$  el de los modelos parciales ( $Mpp = r(\overline{Mp})$ ),  $M$  el de los modelos actuales ( $M \subseteq Mp$ ) y  $GC$  la ligadura global ( $GC \subseteq Pot(Mp)$ ). En esta presentación superficial prescindimos de momento de un elemento adicional que expresa las constricciones que se derivan de las relaciones de una teoría con otras (cf. más adelante la referencia a los vínculos interteóricos).

(3) *Aplicaciones intencionales.*

El núcleo  $K$  es el componente formal de la teoría, pero no el único. Como hemos visto en general en las concepciones semánticas, las teorías *empíricas* pretenden que las constricciones de  $K$  lo son de ciertas *partes de la realidad*, los sistemas empíricos a los que se pretende aplicar el núcleo. Estos sistemas empíricos se denominan en el estructuralismo, como en Adams, *aplicaciones pretendidas* (o *intencionales*, 'intended applications'), y se denota su conjunto mediante ' $I$ '; en nuestro ejemplo de la mecánica clásica, son aplicaciones pretendidas cosas como el sistema Tierra-Luna, el sistema Solar, un trapecista en su balancín, dos bolas de billar chocando, una balanza, un esquiador desliziándose por una pendiente, un niño saltando en una colchoneta elástica, un satélite de comunicaciones en órbita, etc. Respecto de la caracterización estructuralista de estas aplicaciones pretendidas, hay dos hechos que hay que tener especialmente en cuenta.

(3.1) Las aplicaciones pretendidas de una teoría  $T$  se individualizan y describen mediante el vocabulario previo a  $T$ , esto es, mediante el aparato conceptual  $T$ -no teórico. Así, en los ejemplos mecánicos mencionados, la descripción de las aplicaciones incluyen exclusivamente valores de las magnitudes *posición y tiempo*, es decir, son descripciones de los sistemas en términos puramente cinemáticos que presentan sus trayectorias espaciales a lo largo del tiempo. Por tanto, las aplicaciones pretendidas que conforman la base empírica de la teoría, los "datos" de la teoría, ciertamente están cargados de teoría, pero no de la teoría para la que son datos sino, en línea con las observaciones que hizo informalmente Lakatos, de otra previa o antecedente. Los datos de la mecánica, a los que se pretende aplicar y sobre los que se contrasta, están cinemáticamente cargados, pero no dinámicamente cargados. Cada aplicación pretendida es entonces un determinado *modelo parcial*, por tanto  $I \subseteq M_{pp}$ .

(3.2) La selección de las aplicaciones, la determinación de  $I$ , contiene elementos pragmáticos ineliminables, pues tal determinación es esencialmente *intencional y paradigmática*. La determinación es intencional porque lo que hace de un sistema específico que sea

una aplicación pretendida es que sea un objeto intencional de los usuarios de la teoría, que la comunidad científica *pretenda* que las constricciones-leyes se aplican a tal sistema. Y es paradigmática porque el conjunto  $I$  no se caracteriza presentando o listando todos y cada uno de los sistemas físicos que son aplicaciones pretendidas, sino *paradigmáticamente*. No sólo es una aplicación pretendida de la mecánica un cierto esquiador deslizando por una pendiente determinada en cierto momento específico, sino cualquier esquiador en cualquier pendiente en cualquier momento; y, por supuesto no sólo los esquiadores, también los ciclistas, y los niños bajando por las barandillas, y los objetos deslizando por una superficie inclinada, etc.

(4) *Elementos teóricos. Contenido y aserción empírica.*

Ahora podemos presentar ya la noción estructuralista mínima de teoría, la noción de *elemento teórico*. Un elemento teórico, una teoría en este sentido mínimo, está constituido por (1) una parte formal que expresa los recursos conceptuales a diferentes niveles y las constricciones-leyes que según la teoría rigen su ámbito de estudio, y (2) una parte aplicativa que especifica en términos preteóricos los sistemas físicos a los que la teoría pretende aplicarse, de los que pretende que son regidos por sus constricciones-leyes. Así, un elemento teórico  $T$  se identifica entonces con el par formado por el núcleo  $K$ , la parte formal, y el dominio de aplicaciones  $I$ , la parte aplicativa:  $T = \langle K, I \rangle$ . Esta es la noción más simple de teoría, y como veremos resulta parcialmente inadecuada por su "rigidez", pero ya es suficientemente rica y útil para expresar de modo preciso la naturaleza de la aserción empírica de una teoría. Para ello es conveniente presentar primero la noción de *contenido* de una teoría. Hemos visto que el núcleo  $K$  expresa la parte matemático-formal de la teoría. Es en ella donde se presentan las condiciones que, según la teoría, rigen las "partes de la realidad" de que ella trata. Estas condiciones consisten básicamente en las leyes propiamente dichas de un lado, y las condiciones de ligadura de otro, que en el núcleo se corresponden, respectivamente, con los conjuntos  $M$  y  $GC$ . Sin embargo la teoría al aplicarse no

pretende que estas condiciones rigen aisladamente o separadas, sino que las aplicaciones satisfacen todas las restricciones a la vez, tanto las leyes como las ligaduras. Es conveniente entonces "juntar" ambos tipos de condiciones, presentar su efecto restrictivo conjunto. Esto se expresa mediante la noción de *contenido teórico*,  $Con_t$ , cuya caracterización conjuntista,  $Con_t = Pot(M) \cap GC$ , no vamos a comentar aquí.

La noción central para expresar la aserción empírica es la de *contenido empírico*, que se deriva de la de *contenido teórico*. El contenido empírico es el contenido teórico "visto  $T$ -no teóricamente", esto es, el efecto a nivel empírico,  $T$ -no teórico, de las condiciones restrictivas de la parte formal de la teoría; en la versión tradicional, las consecuencias empíricas de la teoría. Si esa es la idea, entonces el contenido empírico  $Con$  será simplemente el resultado de recortar los componentes  $T$ -teóricos de los modelos que aparecen en  $Con_t$ . Los modelos que aparecen en  $Con$  modelos parciales que es posible aumentar con componentes  $T$ -teóricos de modo que se cumplan las restricciones; y si las restricciones son efectivamente tales, no todo modelo parcial es aumentable de este modo.

Ahora podemos expresar de modo preciso la naturaleza que según el estructuralismo tiene la aserción empírica de una teoría. La teoría pretende que ciertos sistemas físicos,  $T$ -no teóricamente descritos, satisfacen las condiciones impuestas por la teoría en el sentido siguiente: esos son los datos de experiencia que se deberían obtener si la realidad operase como la teoría dice. Esta pretensión se expresa en la *aserción empírica* de la teoría, que tiene la forma " $I \in Con$ ", esto es, el dominio de aplicaciones pretendidas  $I$  es uno de los conjuntos de modelos parciales que las constricciones del núcleo  $K$  determinan a nivel empírico  $T$ -no teóricos. Esta es la versión modelista precisa de la idea intuitiva de que las aplicaciones pretendidas satisfacen individualmente las leyes y, además, satisfacen colectivamente las condiciones de ligadura. Mejor dicho, no que "ellas mismas" satisfacen esas condiciones, pues ellas son estructuras  $T$ -no teóricas y tales condiciones

involucran esencialmente a constituyentes T-teóricos de los modelos. La aserción afirma que ciertos sistemas empíricos concretos, descritos T-no teóricamente, tienen el comportamiento que las restricciones legales determinan a nivel T-no teórico. Aplicada al ejemplo de la mecánica, la aserción, entendida en estos términos, expresa de modo sucinto lo siguiente: los sistemas físicos particulares intencionalmente seleccionados (planos, péndulos, muelles, poleas, órbitas, etc.), son tales que sus valores cinemáticos (posiciones, velocidad y aceleración en ciertos instantes) coinciden con los que deberían tener si en los sistemas estuvieran además presentes ciertos parámetros dinámicos (masas, fuerzas) interactuando con los cinemáticos del modo especificado en la mecánica.

(5) *Especialización. Las teorías como redes teóricas.*

Los elementos teóricos expresan la estructura sincrónica de las teorías sólo parcialmente, pues hay un aspecto estructuralmente relevante a nivel sincrónico que ellos no recogen. Se trata de un aspecto que habían enfatizado Kuhn y Lakatos, a saber, que las teorías contienen partes esenciales o inamovibles donde descansa su identidad y partes más accidentales que pueden perderse o modificarse permaneciendo, en un sentido diacrónico relevante, la misma teoría. La noción estructuralista que recoge esta idea es la de *red teórica*, que expresa la naturaleza sincrónica de las teorías en toda riqueza estructural, y que el propio Kuhn ha reconocido que es una buena precisión semiformal de sus matrices disciplinares en cierto momento de su evolución (cf. Kuhn 1975).

Una *red teórica* es un conjunto de elementos teóricos que guardan cierta relación entre sí. La idea es que el conjunto represente la estructura (sincrónica) de una teoría en sus diferentes estratos, esto es, en sus diversos niveles de "especificidad". Tal conjunto, partiendo de elementos muy generales, se va concretando progresivamente en direcciones diversas cada vez más restrictivas y específicas, las "ramas" de la red-teoría. La relación que se ha de dar entre los elementos teóricos para considerar el conjunto una red ha de ser de "concreción" o "especificación" o, como se dice en

terminología estructural, una *relación de especialización*. Podemos ilustrar esta situación con el ejemplo de la mecánica que hemos venido manejando. Volvamos a la definición de los modelos de la mecánica tal como vimos que la presentaba Suppes. Suppes exige que los modelos actuales de la mecánica satisfagan tanto el axioma (7), el segundo principio de Newton, como el (8), el principio de acción y reacción. Desde un punto de vista histórico eso es correcto, si por mecánica entendemos mecánica "newtoniana" y por mecánica newtoniana entendemos la que presentó y creía Newton. Pero desde un punto de vista estructural, la estrategia es inadecuada. El segundo principio y la ley de acción y reacción no están al mismo nivel, y es importante que este hecho se refleje en la estructura de la teoría. En contra de lo que creía Newton, no todo sistema que se ajusta a su segundo principio satisface además esa ley de acción y reacción. Hay sistemas mecánicos que satisfacen el segundo principio que sin embargo son "no newtonianos", en el sentido de que incumplen dicha ley, p.e., sistemas que incluyen partículas moviéndose en un campo electromagnético (aunque este hecho queda algo oscurecido en la versión, como advertimos, técnicamente muy imperfecta que dimos de la ley). Así, mientras todo sistema mecánico satisface (7), no todos ellos satisfacen (8), sólo lo hacen algunos de ellos. Los modelos actuales que satisfacen (8) además de (7) son una "especialización" de los que sólo satisfacen (7). Los modelos actuales más generales de la mecánica son los que satisfacen (7). A partir de ahí se pueden abrir varias líneas de especialización. Algunos satisfarán además (8). Otros no satisfarán (8) pero satisfarán otro u otros principios específicos, etc. Y esto puede pasar también en niveles inferiores. Por ejemplo, no todos los sistemas de acción y reacción satisfacen otros principios adicionales. Unos satisfarán el principio de las fuerzas cuadrático-inversas de la distancia, otros el principio de oscilación, etc. A partir del segundo principio, general, la mecánica clásica se va especializando en diversas direcciones específicas imponiendo progresivamente condiciones adicionales en diversas direcciones con la intención de dar cuenta de aplicaciones específicas.

Este es el panorama que pretende recoger y expresar la noción estructuralista de *red teórica*. La idea que hay tras la relación de especialización es sencilla de precisar tras el ejemplo visto. Un elemento teórico  $T$  es especialización de otro  $T'$  si  $T$  impone constricciones adicionales a las de  $T'$ . Ello supone que: (1) los conjuntos de modelos parciales y potenciales de ambos coinciden, e.e. su aparato conceptual es el mismo; (2) los conjuntos de modelos actuales y ligaduras de  $T$  están incluidos den los de  $T'$ , pues algunos modelos de  $T'$  no satisfarán las constricciones adicionales que añade  $T$ ; (3) el dominio de aplicaciones pretendidas de  $T$  está incluido en el de  $T'$ , esto es, el elemento más específico se pretende aplicar a algunas aplicaciones del más general. Una *red teórica* es entonces un conjunto de elementos teóricos conectados mediante la relación de especialización. Aunque puede haber en principio redes teóricas de muchas formas, en todos los casos reconstruidos hasta ahora la red ha resultado ser *arbórea*, con un único elemento teórico en la cúspide a partir del cual se especializan los restantes en diferentes direcciones.

(6) *Evoluciones teóricas.*

Mediante el concepto de red teórica se captura la estructura de una teoría en un momento dado en toda su complejidad; este concepto expresa adecuadamente la naturaleza de las teorías desde un punto de vista sincrónico o estático. Las redes arbóreas corresponden a la estructura sincrónica de las teorías explicitada informalmente en los trabajos de Kuhn y Lakatos (cf. *La revuelta historicista*). Pero estos autores enfatizaron también, y fundamentalmente, la dimensión diacrónica de las teorías. En un sentido interesante de 'teoría', las teorías son entidades persistentes, se extienden en el tiempo pasando por diferentes versiones y conservándose, a pesar de ello, "la misma"; la Mecánica Clásica, p.e., es, en un sentido interesante, una misma teoría de Newton a Lagrange, a pesar de los cambios que sufre en ese período. Este fenómeno es lo que, imprecisamente, expresaban Kuhn y Lakatos mediante, respectivamente, las nociones de *ciencia normal*, y

*evolución de un programa de investigación.* Con ayuda del aparato visto, el estructuralismo pretende hacer algo más precisas estas ideas. La noción estructuralista que captura la naturaleza de las teorías en toda su complejidad, incluida su dimensión diacrónica, es la de *evolución teórica*. No vamos a ver aquí en detalle esta noción, que supone la inclusión de nuevos elementos pragmáticos fundamentales, principalmente comunidades científicas y períodos históricos. La idea básica es que una evolución teórica es una determinada sucesión de redes teóricas en la que se conservan determinados elementos constantes a lo largo de toda la sucesión. Las redes teóricas son los fotogramas, la imagen congelada de una teoría en un momento dado; las evoluciones teóricas proporcionan la película entera de teoría, son la imagen viva de su desarrollo histórico. Es importante apreciar que la posibilidad del análisis diacrónico depende esencialmente de la adecuación del análisis sincrónico. Las teorías como entidades persistentes resultan accesibles al análisis porque se dispone de una noción sincrónica suficientemente rica y dúctil. Es porque las teorías en tanto que redes teóricas tienen partes *esenciales* y otras *accidentales* por lo que se puede reconstruir su evolución como una secuencia de cambios accidentales conservando lo esencial. Esta es la verdad contenida en los estudios diacrónicos de Kuhn y Lakatos que el estructuralismo expresa de modo preciso, tan preciso como es posible.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADAMS, E. 1959, 'The Foundation of Rigid Body Mechanics and the Derivation of Its Laws from Those of Particle Mechanics', en Henkin-Suppes-Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Noth Hollan, Amsterdam, pp. 250-265.
- BETH, E. 1960, 'Semantics of Physical Theories', *Synthese* 12, pp. 172-175.
- BALZER, W. -MOULINES, C.U. -SNEED, J.D. 1987, *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Reidel, Dordrecht.
- BALZER, W. -MOULINES, C.U., 1996, *Structuralist Theory of Science. Focal Issues, New Results*, W. de Gruyter, Berlin.
- BALZER, W. -MOULINES, C.U., 1997, *Structuralist Theory of Science. Theory Reconstructions*, Rodopi.
- DALLA CHIARA, M. L. -TORALDO DE FRANCIA, G. 1973, 'A Logical Analysis of Physical Theories', *Rivista di Nuovo Cimento* 2:3, pp. 1-20.

- DIEZ, J.A. 1989, 'La Revuelta Historicista en Filosofía de la Ciencia', *Arbor* 526, Madrid 1989, pags. 69-96.
- FRAASSEN, B. VAN 1970, 'On extension of Beth's semantics of physical theories', *Philosophy of Science* 37, pp. 325-339.
- FRAASSEN, B. VAN 1972, 'A Formal Approach to the Philosophy of Science', en Colodny (ed.), *Paradigms and Paradoxes*, U. Pittsburgh P., Pittsburgh, pp. 303-366.
- FRAASSEN, B. VAN 1976, 'To Save the Phenomena', *Journal of Philosophy* 73, pp. 623-632.
- FRAASSEN, B. VAN 1980, *The Scientific Image*, Clarendon P., Oxford.
- FRAASSEN, B. VAN 1989, *Symetries and Laws of Nature*, Clarendon, Oxford.
- GIERE, R. 1979, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Reinhart and Winston, New York.
- GIERE, R. 1988, *Explaining Science*, U. Chicago P., Chicago.
- KUHN, T.S. 1975, 'Theory change as structure change'. Tr. cs.: *El cambio teórico como cambio de estructura*, Teorema, Valencia 1980.
- McKINSEY, J.-SUGAR, A.-SUPPES, P. 1953, 'Axiomatic Foundations of Clasical Particle Mechanics', *Journal of Rational Mechanics and Analysis* 2, pp. 253-272.
- MOULINES, C.U. 1982, *Exploraciones Metacientíficas*, Alianza E., Madrid.
- MOULINES, C. U. 1991, *Pluralidad y Recursión. Estudios Metalógicos*, Alianza, Madrid.
- PRZELECKI, M. 1969, *The Logic of Empirical Theories*, Routledge & Kegan Paul, London.
- SNEED, J.D. 1971, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, Dordrecht. (2ª ed. revisada de 1979.)
- STEGMULLER, W. 1973, *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, Springer, Heidelberg. Tr. cs.: *Estructura y Dinámica de Teorías*, Ariel, Barcelona 1983.
- STEGMULLER, W. 1979, *The Structuralist View of Theories*, Springer, Berlin. Tr. cs.: *La Concepción Estructuralista de las Teorías*, Alianza, Madrid 1981.
- SUPPE, F. 1972, 'What is Wrong with the Received View on the Structure of Scientific Theories?', *Philosophy of Science* 39, pp. 1-19.
- SUPPE, F. (ed.) 1974, *The Structure of Scientific Theories*, U. Illinois P., Urbana. Tr. cs.: *La Estructura de las Teorías Científicas*, E. Nacional, Madrid 1979.
- SUPPE, F. 1989, *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, U. Illinois P., Urbana.
- SUPPES, P. 1957, *Introduction to Logic*, Van Nostrand, New York. Tr. cs.: *Introducción a la Lógica*, CECSA, Madrid.
- SUPPES, P. 1962, 'Models of Data', en Nagel-Suppes-Tarski (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceeding of the 1960 International Congress*, Stanford U.P., Stanford, pp. 252-261. Tr. cs.: 'Modelos de datos', en Suppes, *Estudios de Filosofía y Metodología de la Ciencia*, Alianza, Madrid 1988, pp. 147-159.
- SUPPES, P. 1967, 'What is a Scientific Theory?', en Morgenbesser-Suppes-White (eds.), *Essays in Honor of Ernest Nagel: Philosophy, Science and Method*, New York, pp. 55-67.

SUPPES, P. 1969, *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, Reidel, Dordrecht.

SUPPES, P. 1970, *Set-Theoretical Structures in Science*, Stanford University, Stanford.

SUPPES, P. 1974, 'The Axiomatic Method in the Empirical Sciences', en Henkin (ed.), *Proceedings of the Tarski Symposium*, Providence, pp. 465-479. Tr. cs.: 'El método axiomático en las ciencias empíricas', en Suppes, *Ensayos de Filosofía y Metodología de la Ciencia*, Alianza, Madrid 1988, pp. 39-58.

WOJCICKY, 1976, 'Set theoretical representation of empirical theories', en Przelecki-Sazniawski-Wojcicki (eds.), *Formal Methods in the Methodology of Empirical Sciences*, Reidel, Dordrecht.