

PROPIEDADES MODELÍSTICAS DEL CONCEPTO DE REDUCCION

Andoni Ibarra
Thomas Mormann

Abstract

Theorists of incommensurability have demonstrated the inherent difficulties in the diverse concepts of reduction suggested in the standard framework. In spite of this, the philosophers of the structuralist view have given an explication of scientific progress, in which the concept of reduction in its diverse variants –exact, approximative, etc.– plays a fundamental role. The aim of this paper is to offer a view of the structuralist studies on reduction. Adequacy conditions for the relation of reduction characterize it basically as a law preserving relation and as an anomaly explaining relation. It is provable that there does not exist a reduction relation that is law preserving *and* anomaly explaining, i. e. for any theory T there cannot exist a reducing theory T', such that T' has greater explanatory power and implies T. To cope with the apparent incompatibility of this fact we propose to introduce a new degree of liberalism in the logical reconstruction of empirical theories to make possible the implementation of different reduction maps simultaneously.

0. Introducción.

1. Incommensurabilidad, significado y representación.
2. Dos conceptos modelísticos de reducción: Suppes y Adams.
3. El enfoque estructural de las teorías científicas.
4. Condiciones de adecuación para un concepto estructuralista de reducción.
5. Conclusión: un nuevo reto del nihilismo epistemológico.

Bibliografía

0. Introducción

En la concepción tradicional de la ciencia la reducción ofrece un modelo de desarrollo científico en virtud del cual la subsunción de una teoría por otra caracteriza ese desarrollo como un proceso acumulativo. Tal modelo puede considerarse como uno de los resultados más concluyentes de la síntesis del enfoque analítico

estándar para la formalización de la ciencia con el modelo nomológico-deductivo de carácter metodológico. La tesis reduccionista presenta además un doble aspecto: si para autores como Oppenheim, Kemeny y otros la reducción constituye un elemento nuclear del programa normativo para el desarrollo científico, en otros casos se la considera como el factor característico que describe el desarrollo efectivo de la ciencia. Así, por ejemplo, Nagel comienza el capítulo relativo al análisis de la reducción en (Nagel, 1961) constatando que:

«el fenómeno de una absorción o integración de una teoría relativamente autónoma en otra más amplia es una característica innegable y recurrente de la historia de la ciencia moderna. Hay toda clase de razones para suponer que se continuará efectuando tal absorción en el futuro» (p. 310).

Parece incuestionable ciertamente que las teorías científicas de un dominio se desarrollan históricamente unas a partir de otras. Al menos parece incuestionable en el sentido de que la teoría nueva asume muchas leyes y conceptos de la predecesora. La cuestión es, sin embargo, que algunos de ellos se hallan transformados o incorporados de manera novedosa. Por ejemplo, la génesis de la relatividad especial einsteiniana sería difícilmente comprensible sin la consideración de la mecánica newtoniana como precedente histórico. La mecánica relativista conserva muchos aspectos de la mecánica newtoniana. Pero la complementa con nuevas aportaciones. El problema es entonces cómo caracterizar formalmente el desarrollo de la mecánica relativista a partir de la mecánica de Newton: ¿es esta caracterización asimilable al esquema reduccionista del desarrollo científico concebido como un proceso acumulativo?

La noción de reducción se caracterizaba intuitivamente en la concepción estándar como una operación mediante la cual una teoría, la teoría reductora o sucesora, explica otra teoría, la teoría reducida o predecesora. Se decía, por ejemplo, que la física galileana es reducible a la newtoniana, que la óptica física lo es a la teoría electromagnética, que la termodinámica es reducible a la mecánica estadística, etc. Tradicionalmente ha sido difícil, sin embargo, elucidar qué es la reducción. De aquí que se propusieran en el marco del enfoque estándar diferentes conceptos, compatibles e incompatibles, para ella. Algunos (Mach, Carnap, Neurath) la consideraron como una relación capaz de vincular teorías de diferentes disciplinas en orden a la realización del ideal unitario de la ciencia. Otros la han asociado principalmente a aspectos metateóricos relativos a la explicación o a las leyes científicas (Hempel/Oppenheim, 1948). Sklar enfatizó su aspecto heurístico. Incluso se la ha vinculado a cuestiones de naturaleza filosófica más general como la disputa mecanicismo/vitalismo (Kemeny/Oppenheim, 1956) o las propiedades de los complejos (Nagel, 1961).

Aquí, sin embargo, nos interesa analizar el concepto de reducción en relación al cambio y desarrollo científicos. Como se ha visto, Nagel, Hempel y otros sostienen que el fenómeno de la reducción es una característica recurrente de la historia de la ciencia moderna que ha permitido un desarrollo coherente de ésta en el sentido de que muchas de las nuevas teorías se introducen de tal manera que algunas de las previamente aceptadas son reducibles a ellas. De este modo las nuevas teorías abarcarían —y estarían fundamentadas en— los logros científicos del pasado. La visión

que se induce del desarrollo de las teorías es, pues, acumulativa. Nagel, en particular, lo explicita estipulando dos requisitos formales para la reducción.

Sean dos teorías T y T' . T es reducible a T' si cumple las condiciones siguientes, esquemáticamente expresadas:

- (i) puede fijarse un lenguaje común para T y T' («condición de conectabilidad»),
- (ii) las leyes de T pueden deducirse, son una consecuencia lógica, de las leyes de T' («condición de deducibilidad»)¹.

Ya en las primeras páginas de (Kuhn, 1962) Kuhn constata, sin embargo, que desde hace algunos años los historiadores de la ciencia se encuentran ante dificultades crecientes para sostener determinadas posiciones epistemológicas inducidas por el enfoque de la ciencia que concibe a ésta como una constelación de hechos, teorías y métodos que se desarrollan de manera acumulativa. Concede, por supuesto, que ciertos momentos se adaptan convenientemente al modelo tradicional de progreso científico. Son éstos tópicos de la ciencia normal que, por su misma naturaleza, consiste en la ampliación del conocimiento de los hechos que el paradigma considera como particularmente interesantes, incrementando la extensión del solapamiento entre estos hechos y las predicciones del paradigma y articulando mejor el paradigma mismo (Kuhn, 1962, p. 52). En esta actividad «normalizada» los científicos saben, por decir así, lo que buscan, anticipan los resultados de su investigación. Pero, frente a esta actividad de resolución del rompecabezas sugerido por el paradigma, los análisis históricos de Kuhn dieron paso a la identificación de situaciones inasimilables a la actividad científica normalizada en el marco paradigmático e irreducibles al modelo acumulativo de desarrollo científico: situaciones en las que un paradigma es sustituido por otro lógicamente incompatible con él pues,

«si se originan nuevas teorías para resolver nuevas anomalías en la relación entre una teoría existente y la naturaleza, la nueva teoría exitosa debe permitir ciertas predicciones que sean diferentes de las derivadas de su predecesora. Esta diferencia no podría darse si las dos teorías fueran lógicamente compatibles. En el proceso de su asimilación, la segunda debe desplazar a la primera» (Kuhn, 1962, p. 157).

El desplazamiento, además, no es susceptible de decisión lógica. No es posible construir un algoritmo que permita la elección entre teorías rivales porque las teorías que se suceden en los períodos revolucionarios son, como es bien conocido, inconmensurables. Kuhn y más aún Feyerabend han insistido en este último aspecto. Feyerabend considera, además, igualmente incorrectos los dos principios subyacentes a las dos condiciones requeridas por Nagel, es decir, el principio deductivista de la construcción y el desarrollo de la ciencia y el principio de la invarianza de significado que asegura la estabilidad semántica de los conceptos científicos (Feyerabend, 1962, pp. 30 y 43).

Los retos planteados por las tesis inconmensurabilistas condujeron al remode-

¹ Las condiciones se hallan formuladas de manera precisa en (Nagel, 1961, p. 325) y requieren exigencias demasiado fuertes que posteriormente se debilitarían. En Hempel (1969), por ejemplo, no se requiere que la teoría reducida sea una consecuencia lógica de la teoría reductora. Todo lo que se exige es que las leyes de la teoría reducida sean, en un cierto dominio, aproximaciones de lo que la teoría reductora implica para ese dominio.

lamiento del objeto mismo de la filosofía de la ciencia. No pocos fueron incluso quienes proclamaron la inanidad del análisis lógico reconstructivo de la ciencia a la vista de la débil consistencia de los resultados alcanzados. En todo caso, de aquellas tesis parecía concluirse la inadecuación del modelo reduccionista del desarrollo científico. Quienes con especial énfasis han sostenido, en cambio, su validez, bien que estableciéndola sobre bases distintas, han sido los filósofos del llamado enfoque estructuralista. Así, para Sneed,

«la nueva teoría debe ser tal que la vieja se reduce a (un caso especial de) la nueva teoría» (Sneed, 1971, p. 305).

Stegmüller recoge esta idea en términos igualmente rotundos:

«puede decirse en forma breve cuál es la relación que debe existir entre una teoría suplantada y la teoría sustitutiva suplantadora para que resulten comprensibles a la vez el éxito relativo de la vieja y la superioridad de la nueva: la teoría suplantada debe ser reducible a la teoría sustitutiva» (Stegmüller, 1973, p. 306).

Ahora se invierten, sin embargo, los términos de la justificación. En lugar de inferir la no-reducibilidad entre dos teorías a partir de la no-deducibilidad como lo haría un filósofo estándar, Stegmüller sugiere argumentar en sentido inverso, esto es, mostrando la imposibilidad de definir un concepto adecuado de reducción en base al requisito de deducibilidad. Llega a caracterizar incluso la revolución científica en términos claramente inaceptables para los teóricos de la inconmensurabilidad:

«una 'revolución científica genuina' con progreso científico consiste en una teoría T que es suplantada por otra teoría T' tal que: 1) T y T' son inconmensurables y, 2) T es reducible a T', pero no viceversa» (Stegmüller, 1975, p. 96).

El objeto del presente trabajo es explicitar un concepto de reducción que haga plausible una caracterización de la revolución científica como la propuesta por Stegmüller. Para ello procederemos como sigue: en el apartado primero sugerimos que un enfoque representacionalista de las teorías permite una comprensión adecuada de la alteración semántica de los conceptos. Luego nos detendremos en el análisis de la reducción realizado desde las perspectivas semánticas de Suppes y Adams y que anuncian el enfoque modelístico que seguirán los trabajos estructuralistas en esta cuestión. Tras presentar en el apartado tercero los conceptos principales de ese enfoque, ofrecemos en el cuarto las condiciones de adecuación más relevantes que tiene que cumplir un concepto estructuralista de reducción. Finalmente extraemos algunas conclusiones de interés general para nuestra comprensión de la ciencia y el modo como debemos analizarla.

1. Inconmensurabilidad, significado y representación

Kuhn afirma que dos teorías separadas entre sí por una revolución científica son inconmensurables. Los intentos clarificadores ulteriores del propio Kuhn y sus epígonos no han logrado difuminar la vaguedad original de la tesis. Aquí tampoco

pretendemos aportar nada especial a su elucidación. Ahora bien, la lectura en clave hansoniana de algunos pasajes relativos a la inconmensurabilidad parecen sugerir una interpretación de ella como divergencia perceptiva que consideramos particularmente inadecuada en el presente contexto. Sobre la base de resultados obtenidos por la psicología de la *Gestalt*, Kuhn confiere ciertamente una relevancia extraordinaria a los procesos de percepción conformadores del mundo de los científicos. Insiste, sobre todo, en el capítulo X de (Kuhn, 1962) que los miembros de las diferentes comunidades viven en mundos distintos, que las revoluciones científicas transforman el mundo en el que el científico desarrolla su actividad, etc. Pues bien, una interpretación fuerte de estas afirmaciones puede llevarnos a sostener la divergencia de los ámbitos de referencia de las teorías inconmensurables pues, aunque los estímulos subyacentes fueran comunes, los datos sensoriales serían distintos al ser producidos en el marco de paradigmas diferentes. No existe a juicio de Kuhn una referencia uno-a-uno entre los estímulos y las sensaciones:

«La producción de datos a partir de los estímulos es un procedimiento aprendido. Después del proceso de aprendizaje, el mismo estímulo produce un dato diferente. Concluyo que, aunque los datos son los elementos mínimos de nuestra experiencia individual, tienen que ser también respuestas compartidas a un estímulo dado, sólo entre los miembros de una comunidad educativa, científica o lingüística, relativamente homogénea» (Kuhn, 1977, p. 333).

La renuncia a la búsqueda de una referencia absoluta para los términos invalida, sin embargo, la posición relativista de Kuhn. Quine, por ejemplo, considera que son los enunciados observacionales —y no los datos— las entidades fundamentales para el aprendizaje del significado de los términos. Pues bien, los veredictos que hacemos sobre tales enunciados dependen no de información almacenada no necesaria para su comprensión sino de la estimulación sensorial presente —que no es sensible a diferencias experienciales en el seno de una comunidad lingüística—. Lo que cuenta como enunciado observacional varía ciertamente con la amplitud de la comunidad en cuestión pero siempre es posible conseguir un patrón absoluto tomando la mayoría o todos los miembros de la comunidad (Quine, 1969, p. 116).

La propuesta de Quine sitúa la cuestión de la inconmensurabilidad en el ámbito semántico: la divergencia interteórica subyacente no es perceptiva sino semántica. Así parecen sugerirlo los textos de los inconmensurabilistas más allá de la inconcreción de sus autores. Kuhn y Feyerabend aportan ejemplos históricos para mostrar la inestabilidad de los significados de los términos homónimos que aparecen en teorías inconmensurables. Así el término «planeta» significaba en la astronomía ptolemaica «cuerpo celeste que gira en órbita circular en torno a la Tierra y cambia su posición respecto a las estrellas fijas», mientras que tras la revolución copernicana significa «cuerpo celeste que gira en órbita elíptica en torno al sol o a otra estrella». Desde el punto de vista extensional, en el primer caso la Luna era un planeta y la Tierra no, mientras que la situación se invierte en la astronomía copernicana. Otro ejemplo recurrente en Kuhn y Feyerabend es el de la masa. La masa newtoniana es estable, independiente de la velocidad mientras que la einsteniana depende de esta última; en la teoría relativista, además, la masa equivale a la energía mientras que esta equivalencia es inexistente en la clásica, etc. Así, pues, concluyen, no nos

encontramos ante un único concepto de masa sino realmente ante dos conceptos distintos. Lo que sucede en la transición de la mecánica clásica a la einsteiniana es algo más radical que la mera incorporación reductiva de aquélla en ésta, es más bien el reemplazamiento completo de un marco teórico por otro en el que resultan alterados los significados de los términos que aparecían en el predecesor (Feyerabend, 1962, p. 54). Frecuentemente, además, los teóricos de la alteración radical del significado sostienen adicionalmente que los lenguajes respectivos de teorías son intraducibles entre sí. Estos argumentos, de ser correctos, no sólo inducen una nueva comprensión del desarrollo teórico opuesta al enfoque reduccionista acumulativo. Conducen, además, a la imposibilidad de todo análisis lógico de la ciencia. Las teorías no son compatibles ni incompatibles, son inconmensurables².

La raíz de estos males filosóficos proviene tanto de la teoría del significado implícitamente presupuesta por Kuhn y Feyerabend como de la aceptación por parte de los inconmensurabilistas del paradigma filosófico de sus adversarios empiristas lógicos que conciben la reducción como una relación de deducibilidad entre clases de enunciados. Comencemos con el primero de los males. El último Wittgenstein sostiene que el significado de los términos depende del sistema de creencias compartido por los usuarios del lenguaje en que aquéllos aparecen. De manera similar, la semántica de los términos científicos no queda determinada de manera defictica singularizando una referencia objetual, sino en el interior de una teoría concebida al modo de un mundo autoconsistente. El aspecto interesante de esta intuición queda malogrado al ofrecer Kuhn y Feyerabend una secuencia de ilustraciones históricas que tienen como resultado la reducción de la ciencia a casos banales y de escaso interés actual. Procuremos recuperar la intuición original. El significado de la expresión «caída libre de un cuerpo grave» no se identifica señalando, por ejemplo, un cuerpo que cae en nuestro ámbito de observación. El proceso es más complejo. Los científicos intentan representar matemáticamente, simbólicamente, los cuerpos que caen libremente, reemplazando los objetos por puntos matemáticos. La posición de éstos se representa como una función del tiempo y el movimiento del punto mediante una fórmula que incluye la propiedad dinámica de la aceleración. Finalmente, asignarán un valor constante a esta aceleración. En este procedimiento representacional se opera una transformación remarcable. Como señala Duhem,

«Las palabras 'caída libre de un cuerpo grave' tienen ahora dos sentidos distintos. Para el ignorante de las teorías físicas, tienen un significado real, significan lo que el sentido común entiende al pronunciarlos; para el físico tienen un sentido simbólico, significan: 'caída uniformemente acelerada'» (Duhem, 1906, p. 319).

La condición de que la representación simbólica sea adecuada viene dada por el hecho de que las mediciones realizadas sobre un cuerpo «que cae libremente»

² Los teóricos de la inconmensurabilidad se refieren a menudo a teorías inconmensurables como lógicamente incompatibles, cfr. texto de Kuhn en la introducción. Pero como lo han mostrado críticos como Shapere o Krajewski esto no es posible. Dos teorías son incompatibles si una es, en algún sentido, la negación de la otra, pero esto es lo mismo que decir que ambas teorías deben tener algún significado común.

indican que lo hace con aceleración constante, dentro de un límite de aproximación aceptable³. La relación de representación vincula, pues, lo representado con el constructo simbólico representante preservando su estructura. Sólo así es posible someter nuestras teorías a control experimental. Pero la relación de representación no es una mera relación de denotación. La representación incorpora un excedente teórico irreducible a lo denotado y que imposibilita su identificación con él. Por ello, el significado de los términos científicos está determinado, además de por la relación de representación, por la estructura teórica en la que aparecen. La razón es la siguiente.

Una relación ideal de denotación determinara los términos de manera inequívoca. La relación de representación, sin embargo, no puede ser tan precisa. Existen muchas y diferentes leyes posibles para representar un conjunto de datos experimentales⁴. Las leyes no denotan el mundo observacional, sólo lo representan de manera aproximada. Hay infinitas aproximaciones posibles en cuyas marañas conceptuales los términos fijarán sus significados parcialmente. Para un convencionalista la validez de los constructos teóricos posibles es interna exclusivamente: se vincula a la posibilidad de elección de puntos de referencia arbitrarios o condiciones adecuadas que los hagan admisibles como tales aproximaciones. En la perspectiva representacionalista, sin embargo, la significatividad empírica de tales constructos no se determina de manera tan sencilla. Incluso las estructuras teóricas introducidas por los científicos y que carecen por sí mismas de significatividad empírica, es decir, las «verdades por convención» de los convencionalistas, son tan contrastables y significativas como aquéllas que no suscitan problemas al respecto. Son los conjuntos teóricos los que adquieren significación mediante relaciones de representación que preservan las estructuras fundamentales, no las leyes tomadas de manera aislada.

La perspectiva representacionalista será precisada más adelante en una de sus variantes, la denominada concepción estructural de las teorías. Ella permite abordar el problema de la incommensurabilidad de forma plausible. Su punto de partida es claro: la tesis de la inestabilidad significativa de los términos científicos no implica la imposibilidad de su comparación. Esto fue adelantado ya por el propio Kuhn quien señaló que,

«Incommensurabilidad» es un término tomado de la matemática y allí no tiene tal implicación ('incomparabilidad'). La hipotenusa de un triángulo recto es incommensurable con su cateto pero ambos pueden compararse con el grado de precisión que se quiera. De lo que se adolece no es de comparabilidad sino de una unidad de longitud en términos del cual se puedan medir ambos directa y exactamente. Al aplicar el término 'incommensurabilidad' a las teorías, he procurado tan sólo insistir en que no había ningún lenguaje común en el que ambos pudieran ser totalmente expresados y que lo podríamos utilizar entonces para hacer una comparación punto por punto entre ellos» (Kuhn, 1977, p. 301).

³ Si no es así o bien introducimos en nuestro constructo simbólico determinadas «correcciones» que asignen la causa del error a factores como, por ejemplo, la resistencia del aire u otras fuerzas de fricción o bien construimos otra mecánica en la que la expresión «caída libre» no signifique ya «movimiento uniformemente acelerado» sino «caída cuya aceleración varía según una determinada ley».

⁴ De aquí que, como enfatizará el enfoque estructuralista, dado su carácter simbólico, las estructuras teóricas construidas por el científico no serán verdaderas o falsas sino más o menos adecuadas para significar la porción de realidad que pretende representar.

Pero ¿por qué habríamos de necesitar ese «lenguaje común»? Los científicos no lo necesitan para confrontar teorías entre sí. Lo que sí hacen es comparar *directamente* las estructuras matemáticas de las teorías, su rendimiento explicativo, la exactitud de las predicciones, etc. Los trabajos estructuralistas en este campo privilegian también el análisis de los componentes estructurales de las teorías en detrimento de los lingüísticos. La caracterización de Stegmüller de las revoluciones científicas como sustitución de teorías inconmensurables vinculadas por la relación de reducción se tornará significativa en el marco modelístico que se presentará en el apartado 3. Antes analizaremos brevemente los primeros conceptos de reducción explicitados según un criterio no-lingüístico.

2. Dos conceptos modelísticos de reducción: Suppes y Adams

Suppes propuso ya en la década de los cincuenta un nuevo procedimiento de reconstrucción de una teoría científica al identificar la clase de sus modelos de manera directa, mediante la introducción de un predicado teórico-conjuntista (Suppes, 1957, cap. 12). El concepto de modelo venía considerado en su sentido tarskiano habitual, esto es, como un tipo especial de estructura matemática consistente de ciertos dominios básicos que idealizan porciones de la realidad y determinadas relaciones y funciones definidas sobre tales dominios. Una estructura así representa los sistemas físicos, económicos, psíquicos, etc., que queremos explicar. El enfoque propuesto por Suppes constituía de hecho la extensión al ámbito de la ciencia empírica de un procedimiento bien conocido en la matemática moderna. En la presentación actual de la geometría, por ejemplo, no se identifican los axiomas de la geometría euclídea siguiendo el método formal de axiomatización propugnado por Hilbert y utilizado genuinamente en la investigación metamatemática sino que se define directamente un espacio euclídeo. Esto puede realizarse definiendo en términos semiformales conjuntistas el *predicado fundamental de la teoría*, es decir, un predicado que sintetiza la información más relevante sobre los componentes de la teoría. Las entidades que satisfacen dicho predicado son justamente los modelos de la teoría, o sea, las estructuras relacionales del tipo indicado anteriormente⁵. Así, por ejemplo, la identidad de la teoría de grupos queda fijada mediante el predicado teórico-conjuntista «... es un grupo» definido como sigue:

- D 1. x es un grupo si y sólo si existen $D, \circ, e, ^{-1}$ tal que:
- 0) $x = \langle D, \circ, e, ^{-1} \rangle$
 - 1) D es un conjunto no vacío
 - 2) $\circ : D \times D \rightarrow D$
 - 3) $e \in D$
 - 4) $^{-1} : D \rightarrow D$

⁵ Carnap mostró la equivalencia entre ambos procedimientos de axiomatización, el formal y el semiformal conjuntista (Carnap, 1958, pp. 241 ss). Un examen evaluativo de ambos métodos permite concluir que la segunda de las opciones es suficiente para presentar las teorías con el rigor necesario para proceder a su análisis filosófico.

$$5) \forall a, b, c \in D : a \circ (b \circ c) = (a \circ b) \circ c$$

$$6) \forall a \in D : a \circ e = a$$

$$7) \forall a \in D : a \circ a^{-1} = e$$

Las entidades x constituidas como tuplos ordenados de acuerdo con la condición estipulada en (0) y que satisfacen las condiciones (1)–(7) del predicado «... es un grupo» se denominan modelos de la teoría. Las condiciones (1)–(4) caracterizan cada uno de los componentes del tuplo como conjunto, función de un determinado tipo, etc., mientras que las condiciones (5)–(7) expresan las respectivas leyes de la asociatividad, el elemento neutro y el inverso que pueden considerarse como los axiomas propios de la teoría de grupos. De este modo quedan precisadas según Suppes las condiciones necesarias y suficientes que ha de satisfacer una entidad para poder decir de ella que tiene la estructura representada en el modelo.

De manera similar, podríamos reconstruir una teoría como la mecánica clásica de partículas sustituyendo el criterio tradicional de ofrecer la lista de los axiomas del movimiento formulados por Newton por la definición de un sistema mecánico newtoniano⁶. Consideremos esta posibilidad ilustrando la aplicación del procedimiento semiformal de axiomatización de Suppes a una teoría empírica más sencilla, la teoría arquimediana del equilibrio (Estática arquimediana) (Stegmüller, 1986, p. 22).

Los sistemas equilibrados descritos por la teoría se componen de objetos $a_1, \dots, a_n$ que se encuentran en equilibrio con respecto a un punto de apoyo. Tales objetos constituyen los argumentos para las dos funciones de la estática arquimediana, d (distancia) y p (peso). d representa la distancia de los n objetos al punto de apoyo y p el peso de esos objetos. Se requiere, además, que los valores de la magnitud p sean positivos. La ley fundamental de la estática enuncia que la suma de los productos $d(a_i) \cdot p(a_i)$ de los objetos situados a un lado del punto de apoyo es igual a la de los situados al otro lado. Con estas anotaciones preliminares podemos ya definir el siguiente predicado:

D 2. x es una EA (estática arquimediana) (o, brevemente, EA (x)) si y sólo si existen A, d, p tal que:

$$0) x = \langle A, d, p \rangle$$

$$1) A \text{ es un conjunto finito, no vacío. Por ejemplo, } A = \{a_1, \dots, a_n\}$$

$$2) d : A \rightarrow \mathbb{R}$$

$$3) p : A \rightarrow \mathbb{R}$$

$$4) \forall_n a \in A, p(a) > 0$$

$$5) \sum_{i=1} d(a_i) \cdot p(a_i) = 0$$

La teoría arquimediana del equilibrio se identifica, pues, extensionalmente con la clase de los modelos que satisfacen las cláusulas (1)–(5) de este predicado⁷. Es decir, con $M(EA) = \{x / EA(x)\}$.

⁶ Sobre las dificultades de aplicación a este caso del procedimiento de axiomatización formal estándar, cfr. Moulines/Sneed, 1979, pp. 66 ss.

⁷ La caracterización extensional inmuniza a la reconstrucción de los aspectos negativos asociados a la intensional. La identificación de la estructura por medio del predicado es independiente de las diferencias sintácticas accidentales que puedan darse en las diversas formulaciones posibles del predicado.

En base a este diseño de las teorías científicas Suppes concibe la reducción en términos de un conjunto de restricciones estipuladas para los modelos de las teorías involucradas. En concreto sostiene que:

«para mostrar en un sentido preciso que la termodinámica puede ser reducida a la mecánica estadística necesitamos axiomatizar ambas disciplinas definiendo predicados teórico-conjuntistas apropiados y, después, mostrar que dado un modelo T de la termodinámica podemos encontrar un modelo de la mecánica estadística en base al cual podemos construir un modelo isomórfico a T » (Suppes, 1957, p. 271).

Esta condición de isomorfía queda precisada definiendo una relación de representación, (cfr. Adams, 1955, pp. 37-38).

D 3. T es *reducible* a T' si y sólo si existe una *relación de representación* $\mathfrak{R}$ de T a T' tal que:

- i) si m es un modelo de T , $m \in T$, existe entonces un $m' \in T'$, y
- ii) si $m' \in T'$ y $m \mathfrak{R} m'$ entonces $m \in T$.

La condición requerida por Suppes es demasiado débil. Supóngase, en efecto, la ecuación clásica de difusión tanto térmica, como para flujos de fluidos o cargas $\nabla^2 x = \kappa \cdot \delta x$, siendo ∇ y δ el gradiente y la derivada respectivamente, x la temperatura, la carga o la densidad del fluido y κ una constante apropiada. Como se trata de teorías estructuralmente idénticas podríamos construir fácilmente modelos isomórficos, y cumplir así la condición de Suppes, asociando temperatura con densidad de carga o con densidad de fluidos. Sin embargo, nadie osaría asegurar que es por ello posible reducir parte de la termodinámica o de la electricidad a la mecánica de fluidos. De aquí se concluye que la existencia de una relación de representación como la definida es, en todo caso, una condición necesaria pero no suficiente para la reducción interteórica. La formulación de un concepto más adecuado de reducción puede tomar ahora un doble camino: o bien añadimos a la condición de Suppes nuevas condiciones adicionales que lo aproximen al concepto estándar de reducción o bien retomamos la idea de profundizar en el análisis de la estructura de las teorías. Esta segunda estrategia es la seguida por Adams.

Se ha indicado ya que la teoría arquimediana del equilibrio se identifica, según Suppes, con la clase de los modelos que cumplen las condiciones D 2 (1)-(5), o sea, con $M(EA) = \{x / EA(x)\}$. Pero esta aseveración debe precisarse. Un ejemplo paradigmático para x es, ciertamente, la conocida balanza de brazos en la cual los objetos a_i con pesos $p(a_i)$ se encuentran a una distancia $d(a_i)$ de la cruz de la balanza, de forma que ésta se halla en equilibrio, es decir, satisface las condiciones D 2 (1)-(5). Ahora bien, como el ejemplo aludido muestra, los modelos de la estática deben representar sistemas físicos que cumplen el predicado EA y no sistemas no-empíricos, numéricos por ejemplo, que no se encuentran en el marco intencional de aplicación de la teoría. Considérese el siguiente sistema aritmético:

$$\begin{aligned} A &= \{a_1, a_2\} \\ d(a_1) &= 1 & d(a_2) &= -1 \\ p(a_1) &= 1 & p(a_2) &= 1 \end{aligned}$$

Un sistema artificial como el construido no es, obviamente, un modelo de la estática de Arquímedes. Lo contrario supondría ignorar el dominio de aplicaciones de la teoría. Por esta razón, Adams propuso una modificación sustancial con respecto al enfoque semántico de Suppes (Adams, 1955, 1959). La reconstrucción formal de una teoría debe caracterizar, además de sus modelos, un dominio I de aplicaciones intencionales a las que se pretende aplicar las estructuras singularizadas en los modelos y tal que $I \subseteq M$. Adams enfatiza el carácter real, físico, de los elementos de I . En su tesis doctoral inédita pueden encontrarse pasajes que lo enuncian claramente:

«El segundo miembro de una teoría teórico-conjuntista, el que representa el aspecto explicativo, es el conjunto de todos los objetos o sistemas que intuitivamente se considera que la teoría pretende describir... En el caso de las teorías físicas estos sistemas serán sistemas físicos reales a los cuales la teoría, por decirlo así, se 'aplica'. Llamaremos al segundo miembro de la teoría teórico-conjuntista su conjunto de 'interpretaciones propuestas' (intended interpretations)» (Adams, 1955, p. 9).

Y, más adelante,

«... dos sistemas físicos reales distintos (que son los únicos incluidos en las interpretaciones propuestas)» (*Idem*, p. 198).

Así, pues, el conjunto I de aplicaciones empíricas otorga a la teoría su carácter empírico y ha de ser incorporado, por tanto, a su reconstrucción: una teoría empírica es un par $\langle M, I \rangle$.

Con este formato teórico Adams propone analizar la reducción de la termodinámica a la mecánica estadística diseñando una relación de reducción para la que se estipulan las dos condiciones clásicas de la conectabilidad y la deducibilidad, a las que se añaden dos condiciones adicionales «informales»:

D 4. Sea $T = \langle M, I \rangle$ y $T' = \langle M', I' \rangle$. T es *reducible* a T' si y sólo si existe una *relación de reducción* R de T a T' tal que:

- 1) si $i \in I$ existe entonces un $i' \in I'$ tal que $i R i'$ (condición de conectabilidad)
- 2) si $m' \in M'$ y $m R m'$ entonces $m \in M$ (condición de deducibilidad)
- 3) si $i' \in I'$, $i \in I$ y $i R i'$, entonces los objetos físicos o sistemas de i son numéricamente los mismos que, o compuestos a partir de, los objetos o sistemas físicos de i' (primera condición informal)
- 4) sean $i' \in I'$, $i \in I$ y $i R i'$, si utilizamos el mismo tipo de medición en i e i' entonces las bases (unidades, sistemas de coordenadas, etc.) de esta medición son las mismas (segunda condición informal) (Day, 1985, p. 167).

Las condiciones de conectabilidad y deducibilidad se formulan ahora en términos teórico-conjuntistas. Es decir, la relación de reducción relaciona tuplos ordenados que cumplen las condiciones D 4 (1)–(4). Las condiciones (1) y (3) requieren que T' se ha de aplicar a los mismos sistemas u objetos físicos a los que se aplica T (con lo cual se evita la dificultad apreciada en el concepto de reducción de Suppes) y que la teoría reductora es en sus aplicaciones al menos tan fuerte como la teoría reducida. (2) requiere que si una entidad es un modelo de la teoría reductora y otra entidad m está en la relación R con aquella entidad entonces m será un modelo de la teoría reducida.

El concepto de reducción de Adams es más fuerte que el de Suppes en un aspecto. Mientras que en la conceptualización de Suppes se exige tan sólo la misma estructura formal para las dos teorías vinculadas por la relación de representación, Adams estipula determinadas restricciones para las aplicaciones de las teorías en cuestión. Pues bien, el concepto de reducción de Adams es el punto de referencia inicial del programa estructuralista en este ámbito. Antes de proceder a analizarlo presentamos en el siguiente apartado las nociones fundamentales del programa.

3. El enfoque estructural de las teorías científicas

Suppes fue el primero en enunciar la consigna «la identidad de una teoría viene dada por la identificación de sus modelos». La concepción estructuralista iniciada con Sneed puede entenderse como un intento de desarrollar el enfoque de Suppes en el siguiente sentido (Sneed, 1971): la fijación de los modelos de la teoría constituye tan sólo el primer paso en la determinación de la teoría, es decir, una condición necesaria pero no suficiente para acotar la semántica de una teoría. Esta es una entidad más compleja que la que resulta de la implementación del procedimiento de axiomatización diseñado por Suppes. Las modificaciones introducidas en el enfoque estructuralista afectan a la imagen suppesiana de las teorías en cuatro aspectos esenciales:

1) La semántica de una teoría empírica no queda acotada mediante un único predicado sino que se precisa para ello un *sistema* de predicados. Cada uno de éstos determina, además de los modelos de la teoría, otras clases de modelos, potenciales y parciales, que representan la complejidad estructural del objeto reconstruido.

2) El enfoque estructuralista recoge y mejora en el marco del sistema de predicados mencionado la propuesta de Adams de reconstruir T como un par $\langle M, I \rangle$ en el sentido que se analizará posteriormente.

3) Las teorías maduras como la mecánica o la electrodinámica clásicas se reconstruyen como redes o complejos teóricos de unidades más básicas, los elementos teóricos, vinculadas entre sí por relaciones de especialización. Estos elementos básicos son las entidades mínimas a las que pueden asociarse las características esenciales de una teoría empíricamente significativa.

4) La reconstrucción estructuralista de las teorías considera a éstas como entidades plurimodelísticas y, consiguientemente, caracteriza los diferentes tipos de relaciones existentes entre los modelos de una teoría (*constraints*, ligaduras) o de teorías distintas (*links*, vínculos).

Estos aspectos básicos del formalismo serán presentados intuitiva y brevemente a continuación antes de proceder a nuestro análisis del concepto estructuralista de reducción.

Las unidades básicas del análisis estructuralista son los *elementos teóricos*, piezas elementales de las teorías, dotadas de entidad propia y que podemos asemejarlas a miniteorías. El predicado EA (x) de D 2 determina, por ejemplo, la clase de los *modelos* del elemento teórico EA, M (EA), es decir, la clase de las entidades que cumplen las condiciones D 2 (1)–(5). Sin embargo, la estructura matemática de un

elemento teórico es más compleja. Un segundo componente de ella particularmente relevante está determinado por la clase de sus *modelos potenciales*. El significado de esta estructura es el siguiente: cuando un científico inicia la investigación de un determinado sistema físico, por ejemplo a la luz de una teoría se está planteando, previamente a su objetivo consistente en la caracterización del sistema como modelo de la teoría, si tiene sentido preguntarse sobre la posibilidad de satisfacer ese objetivo. Esto es, si tiene sentido representar el sistema físico como una estática arquimediana, aunque será una cuestión empírica ulterior determinar si cumple la condición D 2 (5) y esperar de este modo que la investigación culmine con éxito. Así, pues, las condiciones que habrán de requerirse inicialmente para concebir al sistema como objeto de nuestra investigación habrán de ser menos restrictivas que las estipuladas en D 2. En esta definición las condiciones (1)–(4) son las denominadas estructurales y caracterizan el marco conceptual del modelo, mientras que la condición (5) es el axioma propio del elemento teórico EA que representa la ley asociada a él. Pues bien, parece plausible considerar que el debilitamiento de las condiciones requeridas tiene que ver con esta distinción y, más en concreto, con la eliminación de la restricción estipulada en D 2 (5). Con ello se determinan las entidades que pueden caracterizarse en el marco conceptual de EA. Podemos introducir, pues, un nuevo predicado conjuntista:

D 5. x es un modelo potencial de EA si y sólo si existen A, d, p tal que:

0) $x = \langle A, d, p \rangle$

1) A es un conjunto finito, no vacío. Por ejemplo, $A = \{a_1, \dots, a_n\}$

2) $d : A \rightarrow \mathbb{R}$

3) $p : A \rightarrow \mathbb{R}$

4) $\forall a \in A, p(a) > 0$

Sólo de un sistema representable como modelo potencial tiene sentido preguntarse si satisface el (los) axioma(s) propio(s) del elemento teórico. Un elemento teórico, por lo tanto, no describe únicamente el comportamiento de un sistema; nos construye, también, a representarlo en un determinado marco conceptual. De ahí que la estructura asociada a este marco sea un componente esencial que debe ser singularizado en la estructura del elemento teórico. $M_p(EA)$ denota la clase de todas las entidades que satisfacen las condiciones D 5 (1)–(5). Por lo tanto, $M(EA) \subseteq M_p(EA)$.

Ahora bien, si la estructura del elemento teórico contuviera tan sólo estos dos tipos de modelos, actuales y potenciales, nos encontraríamos en una situación paradójica. La comprobación de que un modelo actual es válido en un sistema empírico representado como modelo potencial requiere la suposición de la validez de las restricciones impuestas por el modelo en la determinación de los valores de las funciones. Nos hallamos, pues, frente a un argumento circular: para decidir la validez de un modelo en un sistema empírico es necesario presuponer a éste como modelo de la teoría. Sin embargo, parece claro que de lo que se trata es de confrontar los modelos de T a situaciones empíricas representadas previa e independientemente del marco conceptual fijado por los modelos potenciales, es decir, a «modelos de datos» obtenidos mediante la aplicación de modelos actuales de teorías distintas de

T. En el caso concreto de nuestro elemento teórico EA la distinción en la determinación de las funciones d y p ilustra justamente este hecho. En el caso de la determinación –asignación de valores, medición– de p se presupone la validez de la restricción impuesta por la condición D 2 (5), es decir, la ley del equilibrio estipulada en el modelo actual. La situación con respecto a la magnitud d es distinta porque no se exige el requisito anterior. En general, el criterio estructuralista de teoriedad relativo a un elemento teórico T singulariza un término $t \in T$ como T–teórico si y sólo si todos los métodos de determinación de T involucran modelos de T^8 . Los «modelos de datos» para la estática arquimediana, por lo tanto, se representan como tuplos en los que no aparece ya la función de peso, es decir, como $\langle A, d \rangle$. Sólo mediante la aplicación de los modelos actuales de EA podemos enriquecer teóricamente la estructura «dada» a la teoría, incorporando a la estructura previa la función EA–teórica de peso. Para precisar el carácter específico de esta incorporación tenemos que singularizar un tercer componente en la estructura matemática del elemento teórico al que denominaremos la clase de los *modelos (potenciales) parciales*. El predicado conjuntista asociado se introduce como sigue:

D 6. x es un modelo (potencial) parcial de EA si y sólo si existen A, d tal que:

0) $x = \langle A, d \rangle$

1) A es un conjunto finito, no vacío. Por ejemplo, $A = \{a_1, \dots, a_n\}$

2) $d : A \rightarrow \mathbb{R}$

El modelo parcial definido en D 6 puede considerarse como la imagen resultante de aplicar en el modelo potencial una función de restricción r que elimina de él el término EA–teórico p . Así, pues, a partir de cada modelo parcial pueden construirse, como se ha indicado en el apartado 1, distintos enriquecimientos teóricos según los marcos conceptuales incorporados por los modelos potenciales de los diferentes elementos teóricos aplicados. La caracterización conjuntista de la clase de los modelos parciales de EA puede precisarse ahora: $M_{pp}(EA) = \{x / x \text{ es un modelo parcial de EA}\}$. El dominio I de *aplicaciones pretendidas* para EA es, entonces, un subconjunto de $M_{pp}(EA)$, $I(EA) \subseteq M_{pp}(EA)^9$. El problema reside en la determinación de la extensión de I . A diferencia del procedimiento axiomático seguido hasta aquí en la determinación de los componentes estructurales identificados, la fijación de I se realiza pragmáticamente según un criterio de semejanza con las aplicaciones paradigmáticas diseñadas como tales por el propio marco conceptual de la teoría.

Ahora bien, una característica genuina de la investigación científica es la aplicación del elemento teórico a una diversidad de situaciones empíricas (fenómenos).

⁸ Es éste uno de los diversos criterios de teoriedad propuestos en el marco del enfoque estructuralista y ciertamente no está exento de dificultades. Lo recogemos aquí por su carácter más intuitivo para los fines de nuestra exposición. Los problemas a los que se hallan confrontados otros criterios estructuralistas de teoriedad han sido rigurosamente analizados en Schurz, 1990.

⁹ O, más correctamente, si consideramos las aplicaciones intencionales de un elemento teórico no como sistemas físicos singulares (distintas balanzas en equilibrio, por ejemplo) sino como conjuntos de sistemas (balanzas en equilibrio, columpios de brazos en equilibrio, etc.), los elementos de I se caracterizan como conjuntos del conjunto potencia de M_{pp} , $I(EA) \subseteq \mathcal{P}(M_{pp}(EA))$.

Ello obedece fundamentalmente a dos razones. Una primera tiene especial relevancia para la comprobación predictiva y permite trasvasar los valores asignados a una magnitud en un modelo a otros modelos. La segunda permite considerar conjuntamente diversos modelos de acuerdo con las combinaciones admisibles fijadas por el elemento teórico. En efecto, la combinación admisible de modelos (y, por tanto, el trasvase de información entre ellos) debe hallarse sujeta a restricciones estipuladas no sobre los modelos considerados aisladamente, como era el caso en las restricciones impuestas por las estructuras modelísticas del elemento teórico identificadas hasta ahora, sino sobre combinaciones de modelos potenciales. A estas condiciones—puente las denominamos *ligaduras*, C , y las caracterizamos como un subconjunto del conjunto potencia de M_p , $C \subseteq \wp(M_p)$. Una condición así podría estipular, por ejemplo, la asignación del mismo valor para la función peso a un objeto que aparece en diversas aplicaciones de EA. Llamemos a esta condición «ligadura de identidad del peso», I_p . Supongamos ahora que x, x' son modelos potenciales del elemento teórico EA y X combinaciones posibles de tales modelos potenciales. Podemos definir formalmente I_p :

- D 7. Para un $X \subseteq M_p$ (EA), X satisface I_p si y sólo si:
 $\forall x, x' \in X \text{ y } \forall a \in A_x, \forall a' \in A_{x'} : a = a' \rightarrow p_x(a) = p_{x'}(a')$

Otra restricción impuesta por la clase C (EA) sobre las combinaciones posibles de modelos es la ligadura de aditividad para el peso I_e definida como sigue:

- D 8. Para un $X \subseteq M_p$ (EA), X satisface I_e si y sólo si:
 $\forall x, x', x'' \in X \text{ y } \forall a \in A_x, \forall a' \in A_{x'} : p_{x''}(a \circ a') = p_x(a) + p_{x'}(a')$,
donde $\circ$ denota la operación de concatenación.

Pues bien, las ligaduras son clases de clases que cumplen las condiciones requeridas por I_p , I_e y otras semejantes. Es decir:

$$C(I_p) = : \{X / X \subseteq M_p \text{ (EA) y } X \text{ cumple la condición } I_p\}$$

$$C(I_e) = : \{X / X \subseteq M_p \text{ (EA) y } X \text{ cumple la condición } I_e\}$$

En los desarrollos más recientes de la teoría estructuralista se ha distinguido una nueva clase de restricciones intermodelísticas, *vínculos*, que requieren el cumplimiento de determinadas condiciones entre modelos de distintas teorías, (cfr. Balzer/Moulines/Sneed, 1987, pp. 59 ss.). Para el propósito del presente trabajo podríamos considerar estos vínculos como un tipo especial de ligaduras y, por lo tanto, subsumirlos en la clase C .

Un elemento teórico estructuralista T es, pues, una estructura $\langle M_p, M, M_{pp}, r, C, I \rangle$ en la que $\langle M_p, M, M_{pp}, r, C \rangle = K$, es decir, el núcleo teórico que se aplica al dominio I de aplicaciones. Tal estructura es la entidad teórica más sencilla mediante la cual pueden realizarse determinadas *aserciones empíricas*. La reconstrucción estructuralista de la aserción empírica asociada al elemento teórico resulta algo complicada. Hay que identificar en M_{pp} aquellos modelos parciales que son expandibles a T , es decir, que cumplen las condiciones impuestas por las leyes y las ligaduras. El resultado de esta identificación es justamente el conjunto imagen de la función equivalente a la función de restricción r en el nuevo nivel requerido por

esas condiciones puesto que las restricciones impuestas por C no se estipulan para modelos posibles sino para combinaciones de tales. En otras palabras, las restricciones exigidas están determinadas por el contenido teórico de T, $Cn_t(K)$, siendo $Cn_t(K) = : \wp(M_p) \cap C$. Así, pues, se trata de construir adecuadamente en el lenguaje conjuntista que venimos utilizando la función de eliminación de los términos teóricos de esta intersección. Definimos para ello la correspondiente función r en el nivel de los conjuntos potencia:

$$\bar{r} : \wp(M_p) \longrightarrow \wp(M_{pp})$$

Sea $X \in \wp(M_p)$, entonces

$$\forall X \in \wp(M_p) : \bar{r}(X) = \{y / y \in M_{pp} \wedge \exists x \in M_p (r(x) = y)\} = Y$$

Pero necesitamos aún un nivel superior al de los conjuntos potencia para definir una función $\bar{\bar{r}}(X) - \bar{\bar{r}}(X) : \wp(\wp(M_p)) \longrightarrow \wp(\wp(M_{pp}))$ — que asigne a conjuntos de combinaciones de modelos potenciales, conjuntos de combinaciones de modelos parciales:

$$\forall \bar{X} \in \wp(\wp(M_p)) : \bar{\bar{r}}(\bar{X}) = \{Y / Y \subseteq M_{pp} \wedge \exists X \in \bar{X} (\bar{r}(X) = Y)\} = \bar{Y}$$

Pues bien, la clase a determinar está constituida por conjuntos de combinaciones de modelos parciales que resulta ser el conjunto imagen de $Cn_t(K)$. Llamémosla contenido de T : $Cn(K) = \bar{\bar{r}}(Cn_t(K))$. El contenido de T identifica las combinaciones de modelos parciales que pueden ser «tratados por T» o a los que T se puede «aplicar con éxito»:

$$Y \in Cn(K) : \exists X \in Cn_t(K) (\bar{r}(X) = Y)$$

Podemos reconstruir ya la estructura de la afirmación central asociada a un elemento teórico, es decir, su aserción empírica. La aserción empírica de un elemento teórico $T = \langle K, I \rangle$ enuncia que I pertenece al contenido de T, $Cn(K)$. Es decir, $I \in Cn(K)$.

Hasta aquí hemos considerado las restricciones operadas en la estructura del elemento teórico. Ahora bien, las teorías científicas maduras se asemejan a organismos formados por (células) elementos teóricos estructurados en complejas *redes arbóreas*. A partir de un elemento teórico básico asociado a la ley fundamental de la teoría, el enfoque estructuralista representa las leyes especiales mediante nuevos elementos teóricos vinculados jerárquicamente entre sí y con el elemento básico por *relaciones de especialización*. Consideremos dos de tales elementos $T = \langle M_p, M, M_{pp}, r, C, I \rangle$ y $T' = \langle M'_p, M', M'_{pp}, r', C', I' \rangle$.

D 9. T' es una especialización de T si y sólo si:

$$M'_p = M_p, M' \subseteq M, M'_{pp} = M_{pp}, C' \subseteq C, I' \subseteq I$$

La ley especial (por ejemplo, la ley de la gravitación en la mecánica clásica de partículas) representada en M' restringe la clase de modelos mecánicos que cumplen la ley fundamental (la segunda ley del movimiento) representada en M en el sentido indicado en la definición.

Podemos proceder ahora al análisis del concepto estructuralista de reducción.

Como ya hemos dicho, el punto de referencia de los trabajos estructuralistas en este campo lo constituye el análisis de la reducción de Adams.

4. Condiciones de adecuación para un concepto estructuralista de reducción

Antes de acometer los detalles de la teoría estructuralista de la reducción parece pertinente ofrecer, en primer lugar, los rasgos generales que deberán sustentar la adecuación de una concepción estructuralista *precisa* de la reducción. Esta tarea no parece, a primera vista, ser nada sencilla pues, en la ya extensa bibliografía sobre la cuestión, pueden encontrarse, por un lado, conceptualizaciones diversas de la reducción y, por otro, definiciones que, frente a la aparente sencillez de la definición clásica nageliana del doble requisito de la conectabilidad-deducibilidad, contrastan por su complejidad en el intento de integrar las diversas condiciones de adecuación propuestas¹⁰. Un ejemplo patente de esta complejidad lo ofrece la definición de Stegmüller del concepto de «reducción fuerte» que requiere una formulación teórico-conjuntista prolija de más de una página de extensión (Stegmüller, 1979, pp. 125-126). Lo que queremos mostrar a continuación es que este, a primera vista, complejo estado de cosas no es sino un fenómeno superficial que oscurece innecesaria y artificialmente las propiedades fundamentales que caracterizan a las teorías

¹⁰ La siguiente lista incluye buena parte de los trabajos estructuralistas más relevantes sobre el concepto general de reducción: Balzer, 1985; Balzer/Moulines/Sneed, 1987; Hoering, 1984; Kamlah, 1985; Krüger, 1976; Kuhn, 1976; Mayr, 1976; Mormann, 1988; Moulines, 1984; Pearce, 1982; Pearce, 1986; Rott, 1987; Schroeder-Heister/Schaefer, 1989; Sneed, 1971; Stegmüller, 1973; Stegmüller, 1979; Stegmüller, 1986. Bibliografía de interés suplementario para el tema en cuestión puede encontrarse en Diederich/Ibarra/Mormann, 1989. No abundan, a pesar del interés suscitado en los filósofos de la ciencia, los casos históricos de reducción exacta entre teorías. Los casos paradigmáticos son los de la reducción de la mecánica del sólido rígido a la mecánica clásica de partículas -reconstruido en Sneed, 1971, cfr. asimismo Balzer/Moulines/Sneed, 1987- y la reducción de la mecánica del choque a la mecánica clásica de partículas -reconstruido en Balzer/Moulines/Sneed, 1987-. Fuera del ámbito de la física la existencia de casos de reducción exacta parece ser aún más discutible: cfr. la reconstrucción de la reducción de la genética del factor carácter a la genética molecular en Balzer/Dawe, 1986. De hecho la mayor parte de los casos etiquetados en la filosofía de la ciencia como reducciones son caracterizados en el programa estructuralista como *reducciones aproximativas* o, simplemente, *aproximaciones*. Cfr., por ejemplo, el análisis de esta relación entre la cinemática clásica y la teoría especial de la relatividad en Balzer, 1984; entre diversas teorías y la electrodinámica clásica en Bartelborth, 1988, y los trabajos fundamentales de Moulines a este respecto (Moulines, 1981, 1982) en el último de los cuales se reconstruye el ejemplo paradigmático de reducción aproximativa, el de la teoría planetaria de Kepler a la teoría newtoniana de la gravitación.

Además de lo reseñado para la reducción, el programa estructuralista se ha revelado especialmente adecuado para la reconstrucción de las relaciones interteóricas en general. Ello ha permitido establecer una rica tipología de relaciones que contribuye a ofrecer una imagen más realista de la ciencia y su desarrollo. Particularmente interesantes a este respecto, por aplicarse a ámbitos de escasa consideración para el filósofo de la ciencia tradicionalmente sesgado hacia el estudio de casos bien conocidos, son las contribuciones de Hamminga en economía (Hamminga, 1983) y los de Westmeyer y sus colaboradores en psicología social (Westmeyer ed., 1989). Esta variedad de formas de las relaciones interteóricas induce la necesidad de elaborar un esquema teórico general de tales relaciones para las que se han dado ya los primeros pasos en Moulines, 1984a; Balzer/Moulines/Sneed, 1986, y Moulines, 1991.

vinculadas por la relación de reducción. En concreto, postulamos que todas las nociones estructuralistas de reducción son variaciones de un modelo simple, aunque no trivial, a saber:

(*) *Una relación estructuralista de reducción entre una teoría reductora T' y una teoría reducida T es una relación que preserva la estructura entre T' y T .*

Nuestro objetivo en lo que sigue es sustanciar este esquema general presentado aquí todavía de manera demasiado abstracta. Consideremos para ello, en primer lugar, qué entendemos por «relación que preserva la estructura» en un marco donde tal relación desempeña un papel relevante, es decir, en la matemática bourbakiana. Después de todo, este paso previo parece adecuarse al espíritu del programa estructural tal como lo adjetivó Stegmüller, es decir, como un «análogo para la ciencia física del programa de Bourbaki» (Stegmüller, 1979).

Sean G y H grupos en sentido matemático, es decir, G y H son conjuntos dotados de las operaciones $m_G : G \times G \longrightarrow G$ y $m_H : H \times H \longrightarrow H$, que satisfacen los axiomas conocidos requeridos para la multiplicación de grupos. Ahora bien, normalmente en la teoría de grupos los grupos no se consideran aisladamente sino que se adopta una actitud holista o coherentista de acuerdo a la cual las relaciones y conexiones entre los grupos adquieren una relevancia singular en el análisis de los propios grupos. Es por ello por lo que una cuestión básica en teoría de grupos es justamente analizar si existe, para dos grupos G y H , una aplicación f que preserve la estructura, es decir, $f : G \rightarrow H$. f es una aplicación teórico-conjuntista que considera la estructura de grupo de G y H , es decir, que cumple el requisito siguiente:

$$f(m_G(x, y)) = m_H(f(x), f(y)), \quad x, y \in G$$

Si bien es más o menos trivial encontrar una aplicación entre G y H , el problema matemático más común consiste como se sabe en encontrar una aplicación (no-trivial) que preserve la estructura entre tales objetos estructurados.

Pues bien, por lo ya visto, es evidente que las reconstrucciones estructuralistas de las teorías empíricas caracterizan a éstas como sistemas de conjuntos estructurados en el sentido de la matemática bourbakiana. Y por lo mismo, resulta plausible la aserción de que las teorías no deben ser analizadas aisladamente pues, como también se ha visto por ejemplo al aludir al criterio estructuralista de teoriedad, las relaciones interteóricas que las vinculan con otras de su entorno desempeñan una función relevante para nuestra comprensión de las teorías. Hasta aquí, pues, la analogía entre enfoque estructuralista de la matemática bourbakiana y el enfoque reconstructivo estructuralista de las teorías empíricas parece funcionar bastante bien. Concretándola al objeto del presente trabajo, las relaciones de reducción en el enfoque estructuralista en filosofía de la ciencia serían, según lo estipulado en el principio general (*), la contrapartida analógica de los homomorfismos en la teoría de grupos. Analicemos, pues, más detenidamente las implicaciones de esta analogía.

Sean $T = \langle M_p, M, M_{pp}, r, C, I \rangle$ y $T' = \langle M'_p, M', M'_{pp}, r', C', I' \rangle$ dos elementos teóricos con los componentes estructurales definidos como en el apartado anterior y tales que T es la teoría reducida y T' la teoría reductora. Una relación de reducción ρ entre T' y T es, según lo que venimos diciendo, una aplicación que preserva –en un sentido que habrá de precisarse– la estructura de los componentes

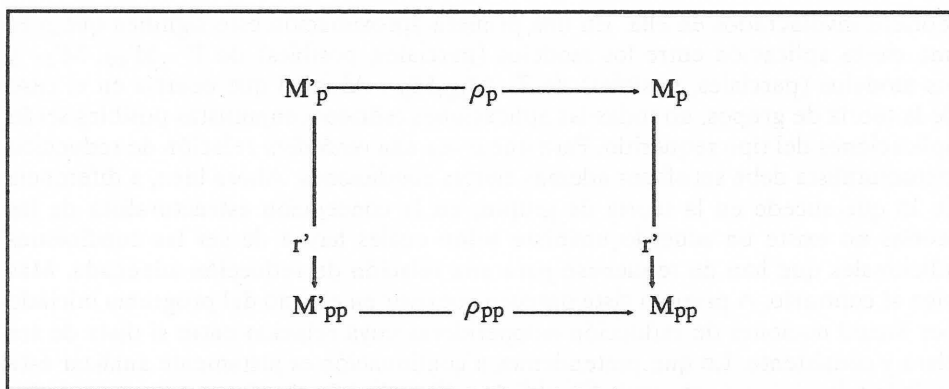
teóricos involucrados en ella. En una primera aproximación esto significa que ρ es una cierta aplicación entre los modelos (parciales, posibles) de $T' - M'_{pp}$, M'_p y los modelos (parciales, posibles) de $T - M_{pp}, M_p$. Al igual que ocurriría en el caso de la teoría de grupos, no todas las aplicaciones teórico-conjuntistas posibles serán aplicaciones del tipo requerido. Para que ρ sea una *verdadera* relación de reducción estructuralista debe satisfacer además ciertas condiciones. Ahora bien, a diferencia de lo que sucede en la teoría de grupos, en la concepción estructuralista de las teorías no existe un acuerdo unánime sobre cuáles hayan de ser las condiciones adicionales que han de requerirse para una relación de reducción adecuada. Más bien al contrario. A primera vista parecen coexistir en el seno del programa iniciado por Sneed nociones de reducción competidoras cuya relación entre sí dista de ser clara y consistente. Lo que pretendemos a continuación es justamente analizar esta variedad de nociones estructuralistas de la reducción a fin de ofrecer una perspectiva general más satisfactoria que la actualmente existente.

El aspecto medular de nuestro análisis consistirá en la explicitación de dos tipos esencialmente distintos de conceptualizaciones estructuralistas de la reducción que resultarán ser, además, incompatibles entre sí. Puede demostrarse, en efecto, la imposibilidad de un único concepto comprensivo de la relación de reducción que cumpliera todos los requisitos intuitivos estipulados en la bibliografía, (cfr. Mormann, 1988). En otras palabras, esto significa que las habituales condiciones informales de adecuación no reflejan de hecho sino intuiciones complementarias no solapables: mientras el primer grupo de condiciones requiere enfáticamente la existencia de un vínculo deductivo o inferencial entre la teoría reductora y la teoría reducida, el segundo grupo remarca diferentes aspectos ligados a la exigencia de un mayor rendimiento explicativo asociado a la teoría reductora en relación al rendimiento de la teoría reducida. En el presente apartado analizaremos, además, una posible reacción sugerida ya por distintos autores ante esta situación, esto es, considerar el concepto de reducción como inconsistente y, consiguientemente, proceder a su prescripción extintiva del ámbito de la filosofía de la ciencia. Sin embargo, como se argumentará finalmente, esta reacción radical no es la única vía de solución ante el presente estado de cosas: frente al *desideratum* de la eliminación del concepto, éste requiere una nueva conceptualización acorde con la relevante función epistemológica atribuida tradicionalmente a la reducción.

Sean como antes T y T' dos elementos teóricos tales que T designa la reconstrucción estructuralista asociada a la teoría reducida y T' la de la teoría reductora. Prácticamente todas las caracterizaciones estructuralistas de la reducción definen una relación de reducción por la que T se reduce a T' como un par $R = \langle \rho_p, \rho_{pp} \rangle$ de aplicaciones teórico-conjuntistas (que pueden estar sólo parcialmente definidos en sus dominios)

$$\rho_p : M'_p \longrightarrow M_p \quad , \quad \rho_{pp} : M'_{pp} \longrightarrow M_{pp}$$

Se asume, además, que existe una correspondencia entre ρ_p y ρ_{pp} en el sentido de que la reducción ha de ser compatible en los dos niveles, el teórico identificado por los modelos potenciales y el no-teórico asociado a los modelos parciales. Es decir, que el siguiente diagrama es conmutativo:



El diagrama ha de leerse: « $\rho_p \circ r = \rho_{pp} \circ r'$ ». En lo que sigue se asume sin más comentario que esta condición se cumple.

Tras este breve prelude podemos acometer ya un análisis más detallado de las diversas condiciones de adecuación que un concepto estructuralista de reducción debe cumplir. Procederemos como sigue: en primer lugar, ofrecemos una formulación informal de cada condición —denotada, por ejemplo, como (1)—, a continuación presentamos una (o más) «traducción(es)» o «contrapartida(s)» estructuralista(s) de aquella —denotada, por ejemplo, como (1)'— y, finalmente, comentamos ambas versiones. Por mor de una mayor simplicidad expositiva no aludiremos a todas las condiciones informales de adecuación que, como se ha dicho, pudieran encontrarse en la bibliografía estructuralista pues a la amplitud de su número se suma la diversidad de variantes en que se presentan y las posibles combinaciones de ellas, incluso en un mismo autor. Por esta razón pretendemos ofrecer tan sólo el contenido esencial de las condiciones de adecuación más relevantes.

1) *Preservación de las aplicaciones intencionales*

Como ya adelantó Adams, una relación de reducción que reduce T a T' debería preservar el conjunto de aplicaciones pretendidas para la teoría, es decir, que a cada aplicación propuesta de la teoría reducida T corresponde, vía la relación de reducción, al menos una aplicación intencional de la teoría reductora T' , (cfr. Stegmüller, 1979, p. 126; Mayr, 1976, p. 289).

- 1)' Sea $R = \langle \rho_p, \rho_{pp} \rangle$. R preserva el dominio de aplicaciones intencionales si y sólo si se cumple la inclusión:
 $I \subseteq \rho_{pp}(I')$

Algunos autores consideran esta condición demasiado fuerte, (cfr. Scheibe, 1983; Kamlah, 1985). Sostienen que podría darse el caso de que I incluya aplicaciones intencionales i que son, de hecho, anomalías de T . En esta situación parece excesivo requerir que todas esas anomalías deban pertenecer también al dominio de aplicaciones intencionales de la teoría reductora. Por ello, es conveniente debilitar la

condición requerida de forma que sólo el dominio I_F de aplicaciones *firμες* o confirmadas deba tener una contrapartida en I' . Por lo tanto, exigiremos que se cumpla tan sólo:

$$I_F \subseteq \rho_{pp} (I')$$

2) Preservación de las leyes

Una relación de reducción cumple la condición de preservación de las leyes si y sólo si es posible deducir las leyes fundamentales de la teoría reducida T a partir de las leyes fundamentales de la teoría reductora T' y la relación de reducción.

- 2)' Sea $R = \langle \rho_p, \rho_{pp} \rangle$. R satisface la condición de preservación de las leyes si y sólo si se cumple:

$$\forall X' \subseteq M' (X' \in \wp (M') \cap C') \Rightarrow \rho_p (X') \in \wp (M) \cap C$$

Esta cláusula representa una genuina condición estructuralista para ρ_p . Se requiere que ρ_p preserve la estructura *ligada* de T' , esto es, una determinada estructura combinatoria de modelos que satisfacen las leyes de T' . Como se ha indicado, las leyes de la teoría se representan en el enfoque estructuralista mediante la clase de sus modelos. Pues bien, la cláusula anterior enuncia, en primer lugar, esta idea intuitiva de que la relación de reducción debe preservar las leyes de la teoría reducida. Esta condición expresada en términos modelísticos puede interpretarse, en efecto, como la contrapartida del requisito clásico que estipula que las leyes fundamentales de T pueden deducirse de las leyes fundamentales de T' *junto* con la relación de reducción. Pero, además, la «contrapartida» estructuralista no se limita a reflejar miméticamente como en Adams el requisito clásico sino que estipula una condición adicional que involucra a las condiciones de ligadura. En suma, la cláusula (2)' requiere la preservación de la estructura intra e intermodelística de T' (Stegmüller, 1973, p. 187).

3) Conexión deductiva entre las aserciones empíricas

Existe una propuesta interesante en orden a representar de otra manera el requisito aludido del vínculo deductivo entre la teoría reducida y la reductora, (cfr. Kamlah, 1985). Kamlah lo enuncia en términos de conexión deductiva entre las aserciones empíricas de T' y T : una relación de reducción satisface la condición de la conexión deductiva entre las aserciones empíricas si y sólo si la aserción empírica de T puede deducirse de la aserción empírica de T' y la relación de reducción.

- 3)' Sea $R = \langle \rho_p, \rho_{pp} \rangle$. R satisface la condición de la conexión deductiva entre las aserciones empíricas si y sólo si se cumple:
si $I \in Cn (K')$ entonces $I \in Cn (K)$

4) Preservación de la especialización

Una relación de reducción R entre los elementos teóricos T' y T ha de ser compatible con sus respectivas especializaciones en el siguiente sentido: si T_1 es una especialización de T debe haber siempre una especialización T'_1 de T' tal que R induce una reducción de T_1 a T'_1 , (cfr. Stegmüller, 1986, p. 134).

- 4)' Sea $R = \langle \rho_p, \rho_{pp} \rangle$. R satisface la condición de preservación de la especialización si y sólo si se cumple:
- (i) $\forall X' (X') \in \emptyset (M'p) \cap C' \Rightarrow \rho_p (X') \in \emptyset (M_p) \cap C$
 - (ii) $M \subseteq \rho_p (M')$

Esta condición propuesta por Mayr como alternativa a las dificultades de las formulaciones de Sneed y Stegmüller de (4) oscurece, sin embargo, el carácter de red en la que se incrustan los elementos teóricos. Además, parece requerir una exigencia demasiado fuerte pues, al igual que ocurría en el caso de la preservación de las aplicaciones intencionales, es plausible pensar que no todos los elementos teóricos de T serán «confirmados» en T' . Por estas razones, (4)' ha de ser estipulada como una condición ideal y no como un requisito realmente exigible para teorías (concebidas como redes) vinculadas entre sí por la relación de reducción.

5) Condición de explicación de las anomalías

Si T se reduce a T' , esta última ha de ser capaz de explicar las anomalías de aquélla. Más aún, T' no debe contener anomalías susceptibles de explicación por T . En otras palabras, el éxito empírico de la teoría reductora T' debe ser al menos tan grande como el de la teoría reducida T .

Esta condición se remite al artículo clásico de Kemeny y Oppenheim sobre la reducción, (cfr. Kemeny/Oppenheim, 1956). Para reconstruirla en el marco estructuralista necesitamos una definición formal de los conceptos de explicación y anomalía. No existe, sin embargo, hasta el momento en el enfoque estructuralista de las teorías científicas un tratamiento sistemático de la explicación científica¹¹. Recuérdese, en todo caso, que hemos ofrecido ya un esbozo de la dirección que habría de tomar una teoría estructuralista de la explicación. Intuitivamente enunciado, T explica un hecho i si i es una aplicación propuesta, $i \in I$, que puede ser expandida en un modelo $x \in T$, mediante la adición de términos T -teóricos, y de forma que satisfaga las restricciones impuestas por las condiciones de ligadura. Es decir, en su forma más simple, $r(x) = i$, siendo r la función de restricción ya conocida. Complementariamente, si i no puede expandirse de la manera indicada, i resulta ser entonces una anomalía de T .

- 5)' Sea $R = \langle \rho_p, \rho_{pp} \rangle$. R satisface la condición de explicación de anomalías si y sólo si se cumple el requisito siguiente: si existe una anomalía $i \in I$ de T se puede encontrar una aplicación $i' \in I'$ que satisface las condiciones:

¹¹ El intento más penetrante al respecto lo ha realizado Sintonen, cfr. Sintonen, 1984.

- (i) i' no es una anomalía de T'
- (ii) $\rho_p(i') = i$ (Mayr, 1976, p. 291).

Como ha mostrado Mormann, éstas (y otras) condiciones de adecuación que debiera cumplir un concepto estructuralista de reducción son interdependientes, (cfr. Mormann, 1988). No parece ser un hecho sorprendente. Sí lo es, en cambio, el hecho de que algunas de las condiciones sean incompatibles entre sí. Puede demostrarse, por ejemplo, el siguiente teorema:

Teorema: No existe una relación de reducción que preserve las leyes y explique las anomalías. Dicho de otro modo, dada una teoría T no puede existir una teoría reductora T' tal que T' tenga, al mismo tiempo, un mayor rendimiento explicativo e implique T ¹².

5. Conclusión: un nuevo reto del nihilismo epistemológico

Una conclusión como la enunciada en el teorema mencionado puede conducirnos razonablemente a preguntarnos por el estatuto de un concepto como el de reducción y su función en el ámbito de la filosofía de la ciencia. Nos enfrentamos de hecho a un problema de primera magnitud. Si tal concepto se revelara finalmente inconsistente, las consecuencias para el análisis filosófico de cuestiones como el progreso científico, el cambio teórico racional o la posibilidad del desarrollo acumulativo del conocimiento científico serían, como se ha indicado en la introducción, realmente profundas. Para comenzar, una gran parte del trabajo acometido en la filosofía de la ciencia de las últimas dos décadas habría resultado vana ante los problemas suscitados por los teóricos de la inconmensurabilidad. El corolario inmediato podría ser el reforzamiento de actitudes antirrealistas, relativistas u otras revestidas de un barniz epistemológico similar. La posición adoptada por Laudan, por ejemplo, (en Laudan, 1984) ilustra ya un precedente en esta dirección. Su argumentación puede formularse como sigue:

Una relación de reducción es una relación interteórica que se establece entre teorías sucesivas, siendo la teoría reducida la predecesora y la teoría reductora la sucesora. Un requisito común a todos los análisis sobre esta cuestión estipula que para que una teoría T' sea una buena sucesora de T , T' debe implicar la teoría predecesora T y que, además, T' debe explicar las anomalías de T . Ahora bien, el teorema mencionado muestra que no pueden satisfacerse simultáneamente ambas condiciones. Esta aparente inconsistencia constituye, según Laudan, una razón suficiente para justificar su actitud contra las posiciones realistas y convergentes en el análisis del conocimiento científico.

Esta conclusión, sin embargo, parece precipitada. Es tan inadecuada como otra análoga posible que aseverara la inexistencia de teorías científicas por el mero hecho de que éstas no se adecúan al marco de la lógica tradicional. Creemos que una reacción más prudente ante el teorema mencionado podría contribuir a materializar una perspectiva más plausible y fructífera para nuestro análisis filosófico de la

¹² Cfr. la prueba en Mormann, 1988, p. 231.

ciencia. Por ejemplo, independientemente del grado de acuerdo o de desacuerdo con determinados detalles del programa estructuralista de reconstrucción de las teorías empíricas, este enfoque ha mostrado convincentemente el carácter complejo de las teorías. Es, pues, simplemente un error considerarlas como sistemas axiomáticos entendidos en un sentido tradicional. Por la misma razón las relaciones interteóricas como la relación de reducción son relaciones con un nivel de complejidad elevado. Consiguientemente, parece altamente improbable que las relaciones lógicas ordinarias de la lógica de enunciados o de predicados sean adecuadas para el análisis de las relaciones interteóricas. (La propia existencia del teorema mencionado confirma, de hecho, esta conjetura). Pero de aquí no puede concluirse necesariamente que ese análisis escape a toda reconstrucción lógica posible. Como acertadamente señala Scheibe,

«... nuestro conocimiento de la aplicabilidad de la lógica a la física es comparable al estado del conocimiento de la naturaleza que el físico tenía en la época de Galileo. Y no hay más razones para renunciar al programa de reconstrucción lógica a causa de la complejidad de la ciencia que las que había en la física de comienzos del siglo XVII, desalentada por la complejidad de la naturaleza» (Scheibe, 1983, p. 69).

Tanto la estructura de las teorías empíricas como la estructura de las relaciones interteóricas son, pues, susceptibles de investigación en una filosofía empírica de la ciencia. Es nuestra comprensión de esta investigación la que debe transformarse.

En concreto, para hacer frente a la aparente incompatibilidad del doble sentido de la relación de reducción –como una relación preservadora de leyes y que explica anomalías– proponemos introducir una mayor dosis de liberalidad en la reconstrucción lógica de las teorías empíricas que nos permita utilizar *simultáneamente* aplicaciones reductivas *diferentes* definiendo el concepto de reducción siguiente:

D 10. Sean T y T' teorías empíricas. T es reducible completamente a T' si y sólo si se cumplen las condiciones:

- (i) existen versiones T_L y T'_L de T y T' tales que T_L es reducible a T'_L mediante una reducción que preserva las leyes.
- (ii) existen versiones T_A y T'_A de T y T' tales que T_A es reducible a T'_A mediante una reducción que explica las anomalías de T .

En otras palabras, consideramos que el argumento de la incompatibilidad entre las distintas conceptualizaciones de la reducción, es decir, entre su caracterización como una relación preservadora de leyes y su caracterización como una relación que explica anomalías, ha sido banalizado en exceso en los enfoques orientados estrechamente hacia la reconstrucción lógica tradicional de las teorías. Estas no son entidades que puedan aprehenderse completamente mediante un único sistema formal, sea éste un sistema axiomático como en la concepción heredada o una clase de modelos como en el enfoque estructuralista. Deberíamos concebir –reconstruir– más bien, las teorías empíricas como agrupaciones de sistemas axiomáticos o como agrupaciones de clases de modelos (no necesariamente consistentes) de forma tal que cada elemento de la agrupación constituyera una *versión* de la teoría. En esta perspectiva una relación de reducción completa singulariza en cada agrupación las

versiones respectivas que se encuentran vinculadas entre sí por cada caracterización de la relación (es decir, preservadora de leyes o explicadora de anomalías).

Una cuestión medular en este enfoque pluralista que sugerimos es, claro está, la elucidación de cómo las distintas versiones de una teoría conviven bajo la cobertura común de una *única* teoría. No parece descabellado sostener que la construcción científica de estas versiones requiere una perspectiva epistemológica de la ciencia en la que se involucra tanto la ciencia misma como la filosofía de la ciencia. Esta última incorpora a la tarea constructiva todo un repertorio de metodologías y dispositivos conceptuales matemáticos y ontológicos que, como los asociados por ejemplo a los conceptos de aproximación y correspondencia, permiten atribuir, a las diversas ciencias, una continuidad histórica al menos parcialmente objetiva. El principio de correspondencia analizado por Krajewski ofrece, por ejemplo, un marco general particularmente relevante para concebir una teoría T como caso límite de una teoría sucesora T' de forma tal que aquélla puede reducirse (aproximativamente) a ésta, (cfr. Krajewski, 1977). Pero, a su vez, este principio de correspondencia no puede ser entendido como una relación lógica explicitada externamente a la ciencia e independiente de ésta, sino como un principio metodológico que es objeto tanto de la reflexión científica como de la teoría de la ciencia, como lo muestra Krajewski al remitirlo al principio homónimo de Bohr. Esta caracterización del análisis filosófico de la ciencia evoca ciertamente la empresa del navegante que ha de rehacer su barco mientras se sostiene difícilmente en él: «somos como navegantes que tienen que transformar su nave en pleno mar, sin jamás poder desmantelarla en un dique de carena y reconstruirla con los mejores materiales» (Neurath, 1932–33, p. 206).

Bibliografía

- Adams, E. W.: 1955, *Axiomatic foundations of rigid body mechanics*, Tesis doctoral, Stanford University.
- 1959, «The foundation of rigid body mechanics and the derivation of its laws from those of particle mechanics», in L. Henkin, P. Suppes, A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam, pp. 250–265.
- Balzer, W.: 1984, «On the comparison of classical and special relativist space-time», in W. Balzer, D. Pearce, H. J. Schmidt (eds.), 1984, pp. 331–357.
- 1985, «Incommensurability, reduction and translation», *Erkenntnis* 23, pp. 255–267.
- Balzer, W.; Dawe, C. M.: 1986, «Structure and comparison of genetic theories: (II). The reduction of character-factor genetics to molecular genetics», *Brit. J. Phil. Sci.* 37, pp. 177–191.
- Balzer, W.; Moulines, C. U.; Sneed, J. D.: 1986, «The Structure of empirical science: local and global», en R. Barcan-Marcus, G. J. W. Dorn, P. Weingartner (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science VII*, Amsterdam, North-Holland, pp. 291–306.
- 1987, *An Architectonic for science*, Dordrecht, Reidel.
- Balzer, W.; Pearce, D.; Schmidt, H. J. (eds.): 1984, *Reduction in science*, Dordrecht, Reidel.

- Bartelborth, T.: 1988, *Eine logische Rekonstruktion der klassischen Elektrodynamik*, Frankfurt a. Main, Peter Lang.
- Carnap, R.: 1958, *Introduction to logic and its applications*, N. York, Dover.
- Day, M. A.: 1985, «Adams on theoretical reduction», *Erkenntnis* 23, pp. 161–184.
- Diederich, W.; Ibarra, A.; Mormann, T.: 1989, «Bibliography of structuralism», *Erkenntnis* 30, pp. 387–407.
- Duhem, P.: 1906, *La thorie physique, son objet-sa structure*, París, Vrin, 1989.
- Feyerabend, P. K.: 1962, «Explanation, reduction and empiricism», *Minnesota studies in the philosophy of science, III*, Minneapolis, Univ. of Minnesota Press, pp. 28–97.
- Hamminga, B.: 1983, *Neoclassical theory structure and theory development*, Berlín, Springer.
- Hempel, C. G.: 1969, «Reduction: Ontological and linguistic facets», en S. Morgenbesser, P. Suppes, M. White (eds.), *Philosophy, Science and Method*, N. York, St. Martins, pp. 179–199.
- Hempel, C. G.; Oppenheim, P.: 1948, «Studies in the logic of explanation», *Philosophy of Science* 15, pp. 135–175, (versión castellana en Hempel, C. G., *La explicación científica*, Buenos Aires, Paidós, 1979).
- Hoering, W.: 1984, «Anomalies of reduction», in W. Balzer, D. Pearce, H. J. Schmidt (eds.), 1984, pp. 33–50.
- Kamlah, A.: 1985, «On reduction of theories», *Erkenntnis* 22, pp. 119–142.
- Kemeny, J. G.; Oppenheim, P.: 1956, «On reduction», *Philosophical Studies* 7, pp. 6–19.
- Krajewski, W.: 1977, *Correspondence principle and growth of science*, Dordrecht, Reidel.
- Krüger, L.: 1976, «Reduction versus elimination of theories», *Erkenntnis* 10, pp. 295–309.
- Kuhn, T. S.: 1962, *La estructura de las revoluciones científicas*, Madrid, F.C.E., 1982.
- 1976, «Theory-change as structure-change: comments on the Sneed formalism», *Erkenntnis* 10, pp. 179–199. Ver. cast. parcial, *Teorema* 7 (1977), pp. 141–165.
- 1977, *La tensión esencial*, México, F.C.E., 1982.
- Laudan, L.: 1984, *Science and values*, Los Angeles, Univ. of California Press.
- Mayr, D.: 1976, «Investigations of the concept of reduction, I», *Erkenntnis* 10, pp. 275–294.
- Mormann, T.: 1988, «Structuralist reduction concepts as structure-preserving maps», *Synthese* 77, pp. 215–250.
- Moulines, C. U.: 1981, «A general scheme for intertheoretic approximation», en A. Hartkämper, H. J. Schmidt (eds.), *Structure and approximation in physical theories*, N. York, Plenum press, pp. 123–146.
- 1982, *Exploraciones metacientíficas*, Madrid, Alianza.
- 1984, «Ontological reduction in the natural sciences», en W. Balzer, D. Pearce, H. J. Schmidt (eds.), 1984, pp. 51–70.
- 1984a, «Links, loops, and the global structure of science», *Philosophia Naturalis* 21, pp. 254–265.
- 1992, «Towards a typology of intertheoretical relations», en J. Echeverría, A. Ibarra, Th. Mormann: *The Structure of Mathematics*, Berlín–N. York, De Gruyter, pp. 403–411.
- Moulines, C. U.; Sneed, J. D.: 1979, «Patrick Suppes philosophy of physics», en R. J. Bogdan (ed.), *Patrick Suppes*, Dordrecht, Reidel, pp. 59–91.

- Nagel, E.: 1961, *La estructura de la ciencia*, Buenos Aires, Paidós, 1978.
- Neurath, O.: 1932–33, «Proposiciones protocolares», en A. J. Ayer (ed.), *El positivismo lógico*, México, F.C.E., 1965, pp. 205–214.
- Pearce, D.: 1982, «Logical properties of the structuralist concept of reduction», *Erkenntnis* 18, pp. 307–333.
- 1986, «Incommensurability and reduction reconsidered», *Erkenntnis* 24, pp. 293–308.
- Quine, W. V. O.: 1969, «Naturalización de la epistemología», en *La relatividad ontológica y otros ensayos*, Madrid, Tecnos, 1974, pp. 93–119.
- Rott, H.: 1987, «Reduction: some criteria and criticisms of the structuralist concept», *Erkenntnis* 27, pp. 231–256.
- Scheibe, E.: 1983, «Two types of successor relations between theories», *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 14, pp. 68–80.
- Schroeder-Heister, P.; Schaefer, F.: 1989, «Reduction, representation and commensurability of theories», *Philosophy of Science* 56, pp. 130–157.
- Schurz, G.: 1990, «Paradoxical consequences of Balzer's and Gähde's criteria of theoreticity. Results of an application to ten scientific theories», *Erkenntnis* 32, pp. 161–214.
- Sintonen, M.: 1984, *The pragmatics of scientific explanation*, Helsinki, Acta Philosophica Fennica.
- Sneed, J. D.: 1971, *The logical structure of mathematical physics*, (versión revisada, 1979), Dordrecht, Reidel.
- Stegmüller, W.: 1973, *Estructura y dinámica de teorías*, Barcelona, Ariel, 1983.
- 1975, «Structures and dynamics of theories: Some reflections on J. D. Sneed and T. S. Kuhn», *Erkenntnis* 9, pp. 75–100.
- 1979, *La concepción estructuralista de las teorías*, Madrid, Alianza, 1981.
- 1986, *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und analytischen Philosophie*, II/3, *Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973*, Berlín, Springer.
- Suppes, P.: 1957, *Introduction to logic*, N. York, Van Nostrand.
- Westmeyer, H. (ed.): 1989, *Psychological theories from a structuralist point of view*, Berlín Springer.

Andoni IBARRA
 Universidad del País Vasco
 Thomas MORMANN
 Freie Universität Berlin.